

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Davorin Zrilić

Zagreb, 2013. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Jerolim Andrić, dipl. ing.

Student:

Davorin Zrilić

Zagreb, 2013. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, koristeći stečena znanja tijekom studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, služeći se navedenom literaturom i uz stručnu pomoć Doc. dr. sc. Jerolima Andrića.

Zahvaljujem se mentoru, Doc. dr. sc. Jerolimu Andriću na pruženoj pomoći i stručnom vodstvu tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se svim profesorima i asistentima na prenesenom znanju i profesionalnoj suradnji tokom studija.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima na strpljenju i potpori.

Davorin Zrilić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
 Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija brodogradnje



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **DAVORIN ZRILIĆ** Mat. br.: 0035161114

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **PROJEKTIRANJE KONSTRUKCIJE GLAVNOG REBRA BRODA ZA PRIJEVOZ PUTNIKA, AUTOMOBILA I KAMIONA (RO-PAX)**

Naslov rada na engleskom jeziku: **STRUCTURAL DESIGN OF MIDSHIP SECTION OF RO-PAX SHIP**

Opis zadatka:

Projektirati konstrukciju glavnog rebra broda za prijevoz putnika, automobila i kamiona (Ro-Pax) slijedećih dimenzija ($Loa=193$, $B=29.8m$, $T=7.5m$, $v=24.5$ čv, nosivosti oko 9000 t), prema pravilima Det Norske Veritas (DNV) i priloženom predlošku generalnog plana broda.

Zadatak obuhvaća:

- 1) Analizu dostupne literature i upoznavanje s Pravilima DNV (*Hull Structure Design, Part3, Ch.1., July 2011*). Posebnu pažnju posvetiti proračunu svih relevantnih strukturnih dimenzija.
- 2) Dimenzioniranja svih relevantne strukturnih dimenzija (uzdužne i poprečne struktura) s obzirom na zahtjeve za globalnom i lokalnom čvrstoćom. Kod dimenzioniranja strukturnih elemenata posebnu pažnju posvetiti opterećenjima od vozila na kotačima. Opterećenja (osovinski razmak, otisak guma, masu, itd.) uzeti prema priloženom predlošku.
- 3) Uz zahtjeve Pravila, dimenzioniranje elemenata poprečne čvrstoće provesti koristeći metodu konačnih elemenata (MKE) na razini proračuna karakterističnog okvira glavnog rebra. Posebnu pažnju posvetiti kriteriju maksimalnih progiba s obzirom na zahtijevanu svjetlu visinu. U radu koristiti računalni sustav OCTOPUS/MAESTRO) razvijen na FSB-u.
- 4) Izradu nacrtu projektiranog glavnog rebra sa svim relevantnim značajkama (geometrija, strukturne dimenzije, itd.).

Zadatak zadan:
16. studenog 2012.

Rok predaje rada:
1. rok: 15. veljače 2013.
2. rok: 11. srpnja 2013.
3. rok: 13. rujna 2013.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 27., 28. veljače i 1. ožujka 2013.
2. rok: 15., 16. i 17. srpnja 2013.
3. rok: 18., 19., i 20. rujna 2013.
Predsjednik Povjerenstva:

Zadatak zadao:

Doc.dr.sc. Jerolim Andrić

Prof. dr. sc. Kalman Žiha

SADRŽAJ

1. Uvod.....	7
2. Dimenzioniranje strukturnih elemenata po pravilima DNV-a.....	9
2.1 Proračun po pravilima DNV [2].....	9
2.2 Opterećenje kotačima (<i>wheel load</i>).....	10
2.3 Analiza senzitivnosti.....	14
3. Proračun strukturnog modela metodom konačnih elemenata.....	16
3.1 Strukturni model.....	16
3.2 Implementirana opterećenja.....	20
3.3 Rubni uvjeti.....	27
3.4 Analiza podobnosti konstrukcije.....	28
3.5 Analiza prototipa.....	31
3.5.1 Deformacije.....	31
3.5.2 Kriteriji.....	34
3.6 Prijedlog poboljšanja.....	40
4. Zaključak.....	48
5. Literatura.....	49
6. Prilog.....	50

POPIS SLIKA

Slika 1. RORO/Passenger ship (RO-PAX).....	7
Slika 2. Opći plan RO-PAX broda.....	9
Slika 3. Osovinsko opterećenje ovisno o vozilima i homogeno opterećenje po palubama.....	11
Slika 4. Opterećena površina (dodirna površina između kotača i palube [3]).....	12
Slika 5. Debljina palube [mm] ovisna o opterećenju [t] [3].....	13
Slika 6. Dijagram senzitivnosti.....	15
Slika 7. Odabrani čvorovi.....	18
Slika 8. Parcijalni 3D MKE model (deset razmaka okvira).....	18
Slika 9. Debljina oplata.....	19
Slika 10. Vrste čelika korištene za izradu modela.....	19
Slika 11. Slučaj opterećenja LC1.....	21
Slika 12. Slučaj opterećenja LC2.....	22
Slika 13. Slučaj opterećenja LC3.....	23
Slika 14. Slučaj opterećenja LC4.....	24
Slika 15. Dijagram rasporeda poprečne akceleracije po visini.....	26
Slika 16. Rubni uvjeti.....	27
Slika 17. Progibi za LC1.....	31
Slika 18. Progibi za LC2.....	32
Slika 19. Najmanji postignuti faktor podob. oplata palube 5 u LC2 s kriterijem PCSF.....	34
Slika 20. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna u LC1 sa kriterijem PCSF.....	35
Slika 21. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna u LC2 sa kriterijem PCCB.....	35
Slika 22. Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrenice u LC4 sa kriterijem PCCB.....	36
Slika 23. Najmanji postignuti faktor podob. oplata palube 5 u LC2 sa kriterijem PCSB.....	36
Slika 24. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna u LC1 sa kriterijem PFLB.....	37
Slika 25. Najmanji postignuti faktor pod. oplata palube 4 i 5 u LC2 sa kriterijem PFLB.....	37
Slika 26. Najveća naprezanja u okviru za LC1.....	38
Slika 27. Najveća naprezanja u okviru za LC3/LC4.....	38
Slika 28. Debljine oplata poboljšanog modela.....	41
Slika 29. Postignuti faktor podobnosti oplata palube 5 u LC2 za kriterij PCSF.....	41

Slika 30. Postignuti faktor podobnosti oplata dna u LC1 za kriterij PCSF.....	42
Slika 31. Postignuti faktor podobnosti oplata palube 5 u LC2 za kriterij PCCB.....	42
Slika 32. Postignuti faktor podobnosti rebrenice u LC4 sa kriterijem PCSB.....	43
Slika 33. Postignuti faktor podobnosti oplata palube 5 u LC2 sa kriterijem PCSB.....	43
Slika 34. Postignuti faktor podobnosti oplata dna u LC1 za kriterij PFLB.....	44
Slika 35. Postignuti faktor podobnosti oplata palube 4 i 5 za kriterij PFLB.....	44
Slika 36. Najveća naprezanja u okviru u LC1.....	45
Slika 37. Najveća naprezanja u okviru u LC3/LC4.....	45
Slika 38. Progibi u LC1 poboljšane konstrukcije.....	46

POPIS TABLICA

Tablica 1. Promjena elemenata strukture uslijed promjene razmaka okvira.....	14
Tablica 2. Masa konstrukcije u odnosu na razmak okvira.....	15
Tablica 3. Slučajevi opterećenja.....	20
Tablica 4. LC 1 Puno optereć. po palubama osim p. D1+ubrzanje/projektni gaz/PREGIB.....	21
Tablica 5. LC 2 Puno opterećenje po palubama + ubrzanje/projektni gaz/PROGIB.....	22
Tablica 6. LC 3 Puno opterećenje po palubama + ubrzanje/nagnuti brod/PREGIB.....	23
Tablica 7. LC 4 Puno opterećenje po palubama + ubrzanje/nagnuti brod/PREGIB.....	24
Tablica 8. Biblioteka kriterija programa MAESTRO i faktori sigurnosti prema DNV.....	29
Tablica 9. Dozvoljena naprezanja [4].....	30
Tablica 10. Progibi po palubama.....	32
Tablica 11. Svjetle visine.....	33
Tablica 12. Sažeti prikaz nepodobnih dijelova strukture prototipne konstrukcije.....	39
Tablica 13. Prijedlog poboljšanja konstrukcije.....	40
Tablica 14. Progibi po palubama – poboljšana konstrukcija.....	47
Tablica 15. Svjetle visine – poboljšana konstrukcija.....	48

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
g_0	m/s^2	Ubrzanje gravitacijskog polja zemlje
a_v	m/s^2	Vertikalna akceleracija
Q	t	Osovinsko opterećenje
n_o	/	Broj opterećenih površina po osovini
a	m	Duljina opterećene površine paralelno s uzdužnjacima
b	m	Duljina opterećene površine okomito na uzdužnjake
E	N/mm^2	Youngov modul
σ_{dop}	N/mm^2	Dopušteno naprezanje
f_1	/	Faktor materijala
q	N/mm^2	Opterećenje
$M_{total, hogg}$	Nm	Ukupni moment savijanja u pregibu
$M_{total, sagg}$	Nm	Ukupni moment savijanja u progibu
a_t	m/s^2	Poprečna akceleracija
C	N/mm^2	Izdržljivost
D	N/mm^2	Naprezanje
g	/	Faktor podobnosti
γ	/	Koeficijent sigurnosti

SAŽETAK

Završni rad se bavi projektiranjem konstrukcije glavnog rebra broda za prijevoz putnika, automobila i kamiona (Ro-Pax).

U uvodnom dijelu rada dan je kratki opis RoRo brodova, te njihove strukturne karakteristike.

Proračun je izveden po pravilima DNV (Det Norske Veritas) klasifikacijskog društva. Posebna je pozornost posvećena dimenzioniranju paluba koje su opterećene kotačima kamiona i automobila (*wheel load*). Proračun po pravilama je proveden za tri konstrukcije sa različitim razmacima okvira (*web spacing*), te se na temelju masa pojedinih konstrukcija, odabrala ona s najmanjom masom.

Zatim slijedi analiza MKE modela broda izrađenog u programu MAESTRO, dostupnog na FSB-u. Analiza se radi za četiri različita slučaja krcanja broda, te se nepodobni dijelovi strukture reprojektiraju. Posebna pažnja je posvećena proračunu elemenata poprečne čvrstoće (palubne sponje, rebra). Zbog zahtijevane svijetle visine svakog skladišta, provjeravaju se progibi poprečnih nosača (sponja) svake palube.

Slijedi prijedlog rješenja koje zadovoljava sve strukturne kriterije.

U prilogu su dani proračun glavnog rebra, izrađen u programu MS Excelu, te nacrt glavnog rebra.

1. Uvod

1.1. Roll-On/Roll Off i RO-PAX (RORO/Passenger) brodovi

RORO brodovi su brodovi za prijevoz tereta koji se može uvesti i izvesti iz broda, te je time eliminirana potreba za dizalicama na samom brodu ili u luci. Primarna im je namjena prijevoz kamiona i automobila, te čine važnu kariku u intermodalnom prijevozu. Prevoziti se mogu kompletne jedinice (kamion i trajler) ili samo trajler, nakon što je dovezen u luku. Kompletne se jedinice najčešće prevoze kada brod ima pramčanu i krmenu rampu (*drive-through*) [1]. RO-PAX brodovi, u odnosu na RORO brodove, uz prijevoz teretnih vozila i automobila, prevoze i putnike, vidi sliku 1. Možemo sumirati da su prema postojećim pravilima Ro-Ro putnički brodovi svi oni koji su ovlašteni prevoziti više od 12 putnika, a Ro-Ro teretni oni koji prevoze do 12 putnika. Ovakav tip brodova počeo se razvijati na Baltiku tijekom 60-tih godina, pa se brzo proširio na Sredozemno i Sjeverno more, te Japan.



Slika 1. RORO/Passenger ship (RO-PAX)

Rampe, preko kojih se teret uvozi i izvoza sa broda, mogu biti na brodu ili na doku. Kako bi se izvršio ukrcaj i iskrcaj na različita palube, postoji sistem unutrašnjih rampi preko kojih se obavlja prijevoz sa palube na palubu. Rampe za ukrcaj tereta na bord, najčešće se nalaze na krmu broda, dok su pramčane rampe češće na trajektima nego li na RORO

brodovima. Zbog što jednostavnijeg ukrcaja i iskrcaja, RORO brodovi imaju veliku horizontalnu širinu skladišta, bez poprečnih elemenata (upora, raznih kućišta) koji bi ometali prijevoz tereta, a iz istog su razloga najčešće projektirani bez poprečnih i uzdužnih pregrada. Zbog tih razloga, kod palubnih sponja postoji veliki nepoduprti raspon, te se na palubama na poziciji sredine broda javljaju najveći progibi. Zbog zahtjeva na svjetlu visinu (visina od dna skladišta do palubne sponje), na ovo se mora obratiti posebna pažnja pri projektiranju.

Gaz čak i najvećih RORO brodova ograničen je do 10 metara, što ograničava promjer propelera i rezultira malom efikasnosti propulzije, velikim opterećenjem krila propelera i pojavom kavitacije.

Uzdužni i poprečni nagib broda moraju biti na minimumu, zbog nagiba unutrašnjih rampi preko kojih prelaze vozila. Pomične rampe i dizala neće funkcionirati kod više od 4° nagiba kobilice. Ovaj problem je izraženiji kod manjih RORO brodova.

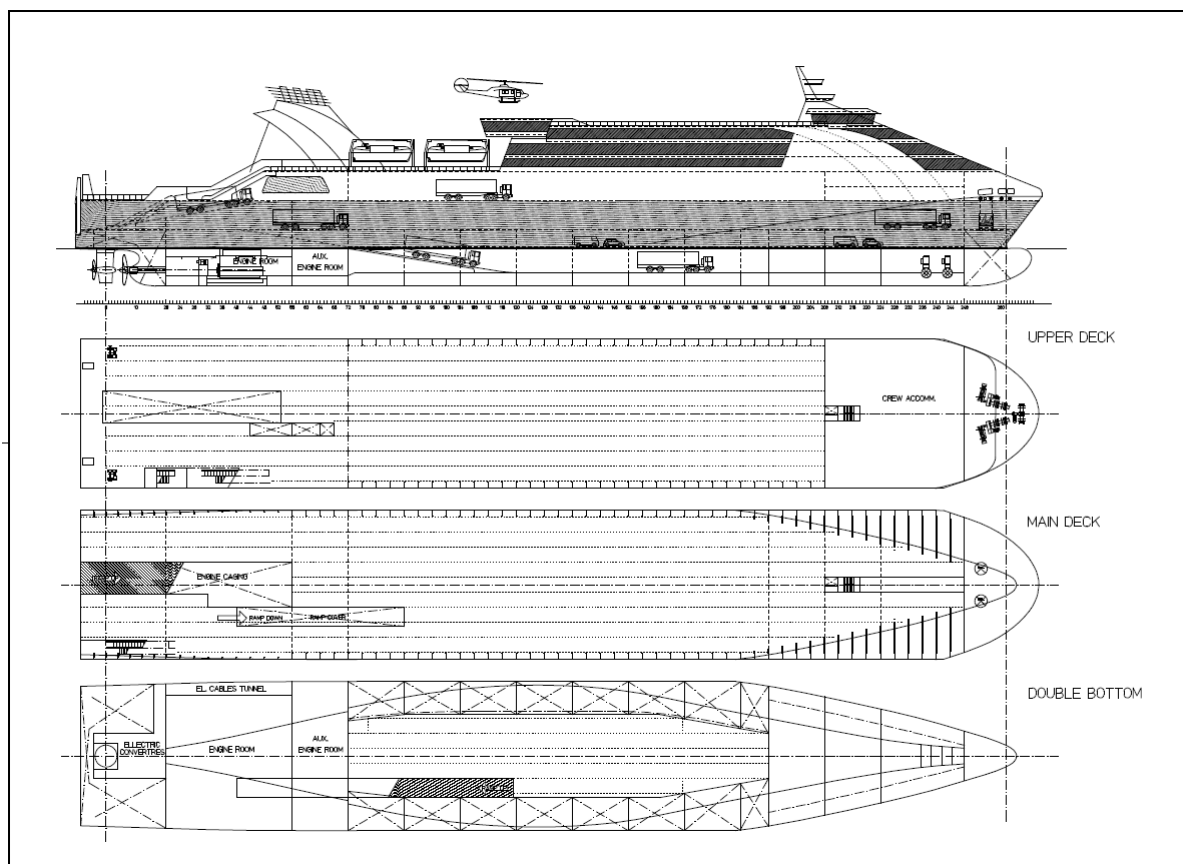
2. Dimenzioniranje strukturnih elemenata po pravilima DNV-a

2.1. Proračun po Pravilima DNV [2].

Glavne dimenzije broda su:

Duljina preko svega:	193 m
Širina:	29,8 m
Gaz:	7,5 m
Koeficijent punoće:	0,514
Brzina	24,5 čv
Nosivost:	9000 t
Moment savijanja na mirnoj vodi u pregibu:	1 200 000 kNm
Moment savijanja na mirnoj vodi u progibu:	0 kNm

Preliminarni nacrt generalnog plana koji je poslužio i kao predložak za ovaj proračun dan je na slici 2, [3].



Slika 2. Opći plan RO-PAX broda

Proračun je proveden po pravilima DNV-Hull structure Design, Part 3, Ch.1., July 2011, [2]. Kompletan proračun glavnog rebra za razmak okvira od 3200 mm, zajedno s nacrtom finalne varijante glavnog rebra, dan je u prilogu A, a u njemu je sadržan i proračun nadgrađa (6. i 7. paluba), koje zbog svoje ograničene duljine i pozicije ne sudjeluje u uzdužnoj čvrstoći, te iz tog razloga nije modelirano u MAESTRO-u.

2.2. Opterećenje kotačima (wheel load)

Specifičnost kod projektiranja RORO brodova je opterećenje kotačima koje se uzima u obzir kod dimenzioniranja oplata i uzdužnjaka paluba koje na sebi nose vozila.

Tlak opterećenja kotačima računa se prema formuli iz Pt.5 Ch.2 Sec.4 [4]

$$p = \frac{Q}{n_o ab} (9,81 + 0,5a_v) \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2.1)$$

gdje je:

Q = najveće osovinsko opterećenje [t]

n_o = broj opterećenih površina po osovini

a = duljina opterećene površine paralelna sa uzdužnjacima [m]

b = duljina opterećene površine okomita s uzdužnjacima [m]

a_v = vertikalna akceleracija [m/s^2]

Paralelno je proveden i proračun strukturnih dimenzija palube za opterećenje jednolikim tlakom prema formuli iz Pt. 3 Ch1. Sec 8 [2]:

$$p = (g_0 + 0,5a_v)\rho H \quad (2.2)$$

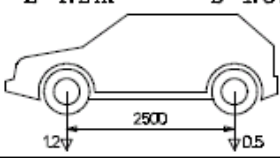
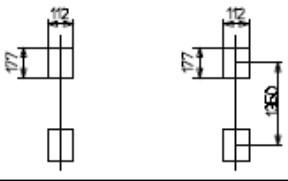
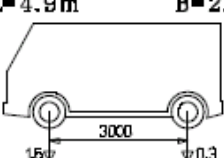
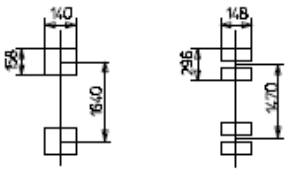
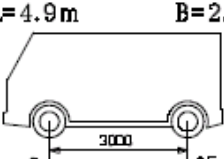
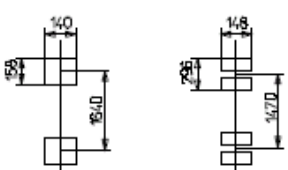
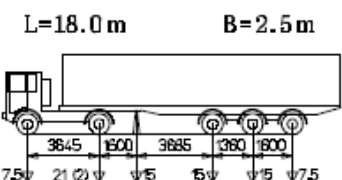
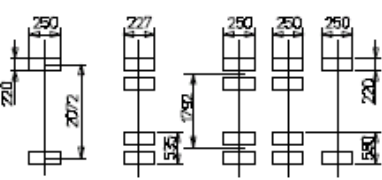
Gdje je:

g_0 = akceleracija gravitacije = $9,81 \text{ m/s}^2$

a_v = vertikalna akceleracija [m/s^2]

ρH = homogeno opterećenje palube [t/m^2]

Dominantni kriterij bio je uslijed opterećenja kotačima, te je prema njemu proveden proračun uzdužnjaka i oplata, dok su sponje proračunate za jednoliki tlak po širini palube prema homogenom opterećenju prikazanom na slici 4, [3].

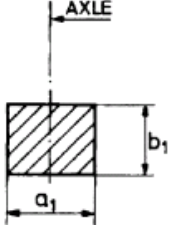
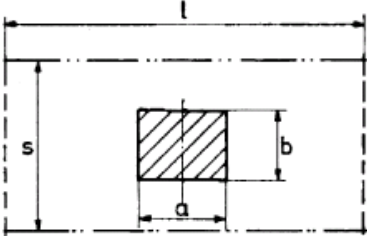
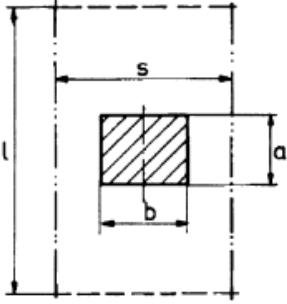
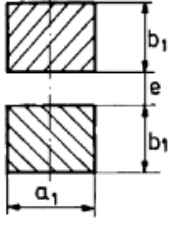
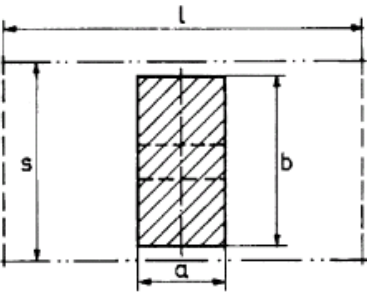
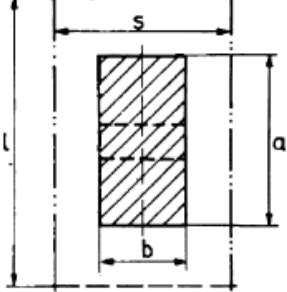
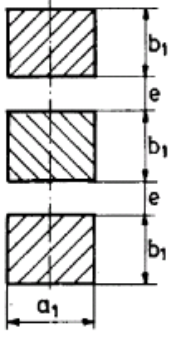
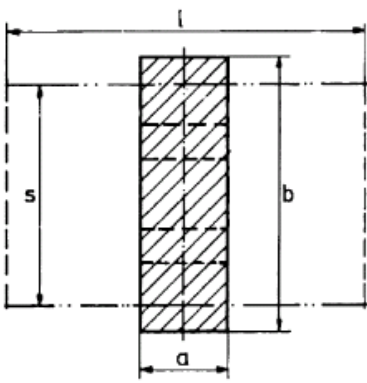
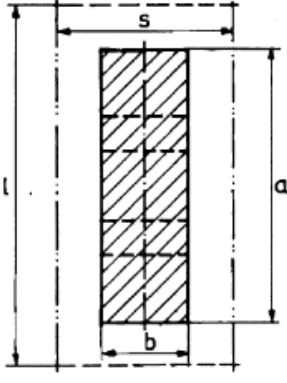
PERMISSIBLE WHEEL LOADING OF DECKS - IMPROVE					
NAME	LOAD AT	AXLE LOAD (t) FRONT REAR	TYPE PRINT (mm) FRONT REAR	DECK No	HOMOGENEOUS LOADING t/m ²
PRIVATE CAR	SEA (1)	L=4.2m B=1.8m 		2	0.3
TRANSPORTER	SEA (1)	L=4.9m B=2.0m 			
TRANSPORTER	SEA (1)	L=4.9m B=2.0m 			
TRUCK AND SEMITRAILER	SEA (1)	L=18.0m B=2.5m 		4	1.5
				3	3.0
				1	4.0

(1) VEHICLES STOWED IN LONGITUDINAL DIRECTION ONLY

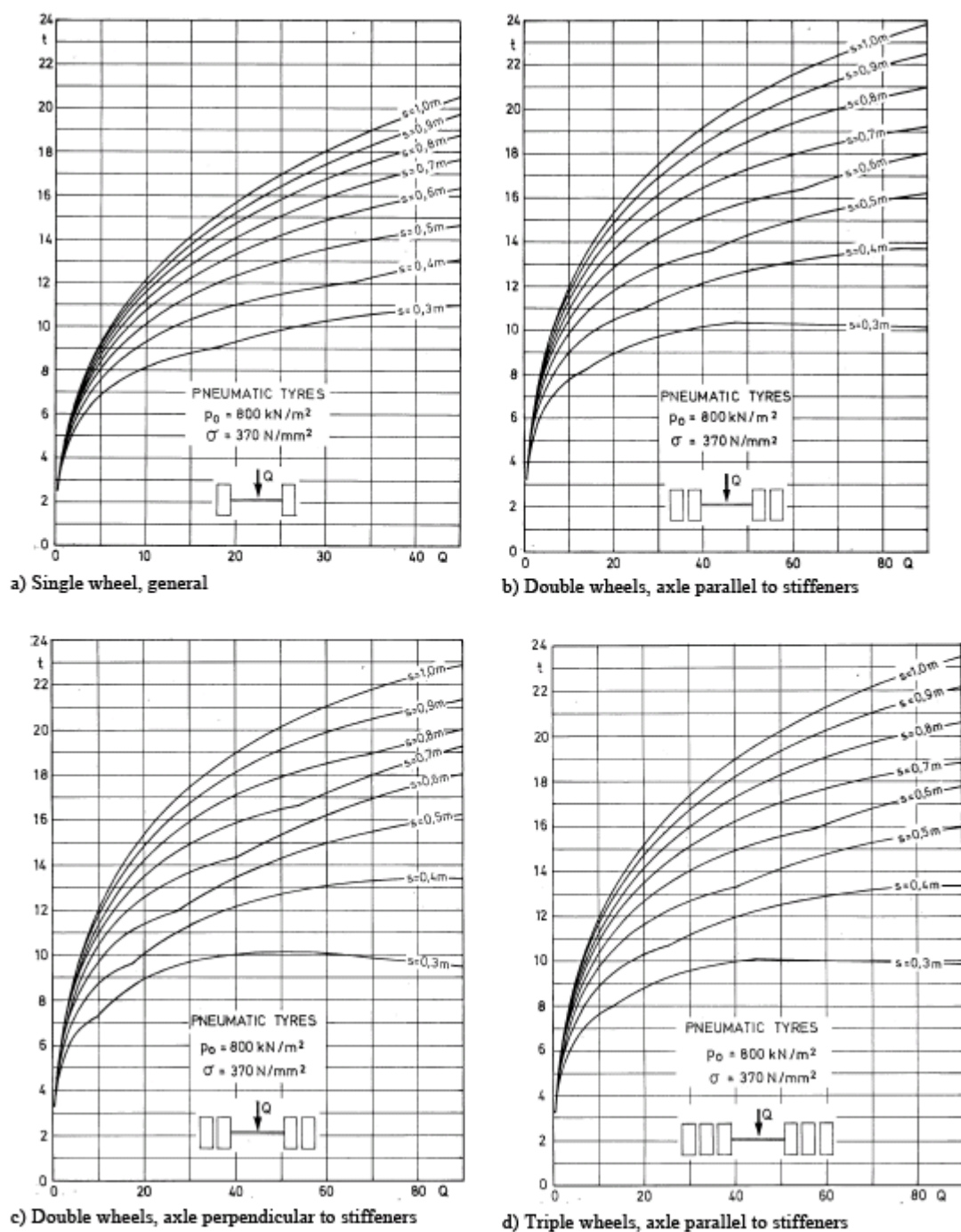
(2) IN HARBOUR ONLY

Slika 3. Osovinsko opterećenje ovisno o vozilima i homogeno opterećenje po palubama [3]

Na slici 5 prikazana je opterećena površina sa pripadajućim dimenzijama prema DNV-u, dok je debljina palube u ovisnosti o osovinskom opterećenju prema DNV-u, prikazana slikom 6.

1 Number of wheels in group	2 Footprint dimensions (real contact areas between tyres and deck)	3 Design load area for axle perpendicular to stiffeners	4 Design load area for axle parallel to stiffeners
Single wheel			
Double wheels			
Triple wheels			

Slika 4. Opterećena površina (dodirna površina između kotača i palube) [4]



Slika 5. Debljina oplata palube [u mm] ovisna o opterećenju [u t] [4]

2.3. Analiza senzitivnosti

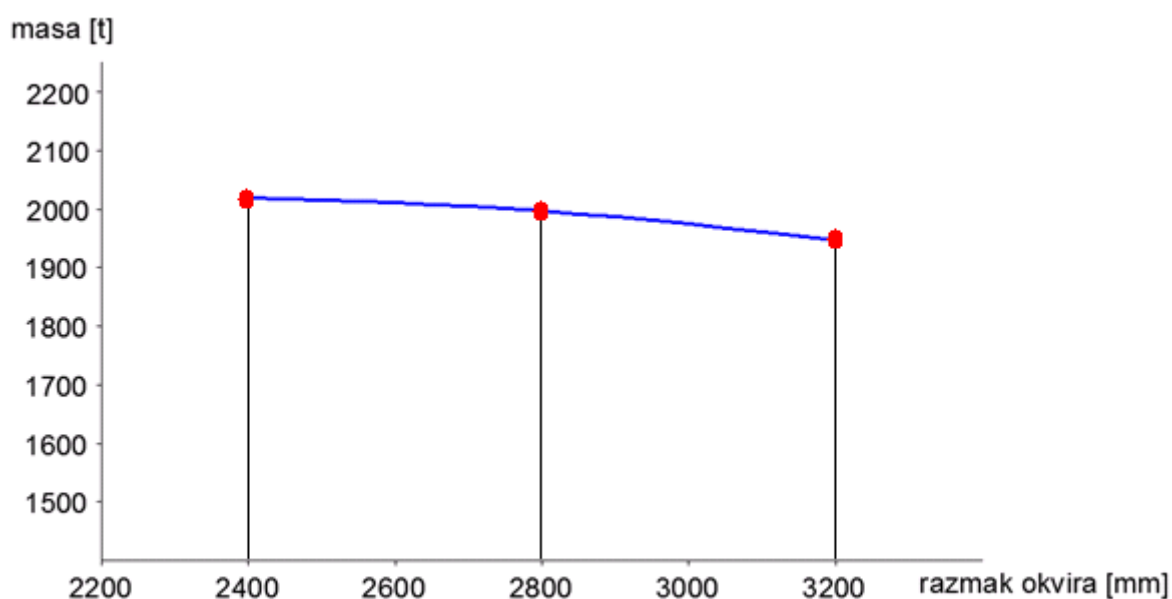
Proračun glavnog rebra proveden je za tri različita razmaka okvira, uz istu geometriju presjeka i konstantan razmak uzdužnjaka, te se zatim za svaku varijantu proračunala masa za teretni prostor u duljini od 84 metra. Usporedba promijenjenih elemenata strukture za svaki razmak okvira, prikazana je Tablicom 1, dok je ukupna masa modula za pojedini razmak prikazana Tablicom 2 i Slikom 7.

Tablica 1. Promjena elemenata strukture uslijed promjene razmaka okvira

	Element	l = 2400 mm	l = 2800 mm	l = 3200 mm
UZDUŽNI ELEMENTI	Ukrepe hrptenice	HP 220x10	HP 240x10	HP 260x10
	Ukrepe jakog uzdužnog nosača dna 1	HP 200x12	HP 240x10	HP260x11
	Ukrepe jakog uzdužnog nosača dna 2	HP 200x9	HP 220x10	HP240x11
	Uzdužnjaci dna	HP 220x12	HP 260x10	HP 280x11
	Uzdužnjaci uzvoja	HP 220x10	HP 240x11	HP 260x11
	Uzdužnjaci boka - voj A	HP 200x9	HP 200x12	HP 240x10
	Uzdužnjaci boka - voj B	HP 180x9	HP 200x9	HP 200x11,5
	Uzdužnjaci boka - voj C, D	HP 180x9	HP 180x9	HP 200x9
	Uzdužnjaci boka - voj E,F	HP 120x7 AH36	HP 120x8 AH36	HP 140x7 AH36
	Uzdužnjaci pokrova dvodna - 1st DECK	HP 220x10	HP 220x12	HP 240x11
	Uzdužnjaci - 2nd DECK	HP 100x6	HP 100x8	HP 120x6
	Uzdužnjaci - 3rd DECK	HP 200x10	HP 200x10	HP 220x11,5
	Uzdužnjaci - 4th DECK	HP 200x9 AH 36	HP 200x9 AH36	HP 200x10 AH36
	Uzdužnjaci - 5th DECK	HP 80x6	HP 80x6	HP 80x7
	Uzdužnjaci pregrade - voj A	HP 220x10	HP240x11	HP 260x11
	Uzdužnjaci pregrade - voj B	HP 200x9	HP 200x12	HP 240x10
	Podveze - 2nd DECK	T 440x10/150x10	T 440x10/150x15	T 440x10/150x20
	Podveze - 3rd DECK	T 1130x10/150x35	T 1130x10/150x35	T 1150x12/150x45
	Podveze - 4th DECK	T 1070x10/150x30	T 1070x10/150x30	T 1070x10/150x40
	Podveze - 5th DECK	T 880x7/180x12	T 880x7/180x12	T 880x7/180x20
	Oplata boka - voj D	t = 9,5 mm	t = 10,5 mm	t = 10,5 mm
POPREČNI ELEMENTI	Sponja - 2nd DECK	T 440x10/200x15	T 440x10/220x20	T 440x10/230x20
	Sponja - 3rd DECK	T 1130x10/440x35	T 1140x12/400x40	T 1150x12/420x45
	Sponja - 4th DECK	T 1070x12/600x30	T 1070x12/600x40	T 1070x12/600x45
	Sponja - 5th DECK	T 880x7/300x20	T 880x7/350x20	T 880x7/350x20
	Ukrepa uzdužne pregrade	T 600x10/180x20	T 600x10/180x25	T 600x10/180x25
	Rebro 1	T 1200x10/100x12	T 1200x10/120x12	T 1200x10/140x15
	Rebro 2	T 600x8/100x8	T 600x8/100x8	T 600x8/130x12
	Rebro 3	T 250x6/80x10	T 270x8/100x12	T 270x8/100x12

Tablica 2. Masa konstrukcije u odnosu na razmak okvira

Razmak okvira	Razmak uzdužnjaka	Duljina skladišta	Masa konstrukcije
$l = 2400 \text{ mm}$	$s = 600 \text{ mm}$	$L = 84 \text{ m}$	2020 t
$l = 2800 \text{ mm}$			1997 t
$l = 3200 \text{ mm}$			1947 t

**Slika 6. Dijagram senzitivnosti**

Rezultati pokazuju da je zbog najmanje mase, najbolja varijanta ona sa razmakom okvira od $l = 3200 \text{ mm}$. Povećanjem razmaka, morali su se pojačati elementi uzdužne strukture (podveze, uzdužnjaci paluba, dna i bokova) i poprečne strukture (sponje, rebra), ali se smanjio broj okvira na rasponu od 84 metra, što je rezultiralo manjom masom konstrukcije.

Proračun ukupne težine konstrukcije za sve varijante, zajedno s dobivenim masama, dan je u prilogu B.

3. Proračun strukturnog modela metodom konačnih elemenata

Cilj direktnog proračuna strukture glavnog rebra korištenjem metode konačnih elemenata (MKE) je provjera strukturnih dimenzija glavnog rebra proračunatih prema Pravilima (vidi 2.poglavlje). Polazeći od proračunatih strukturnih dimenzija za odabrani razmak okvira od 3200 mm izgrađen je 3D MKE parcijalni model oko glavnog rebra. Posebna pažnja je posvećena točnijem proračunu poprečnih strukturnih elemenata kao što su okvirna rebra i sponje, te njihovom finalnom dimenzioniranju. Prednost ovakvog modela u odnosu na gredne 2D modele je u tome što mogu vjernije opisati interakciju između različitih strukturnih elemenata. Parcijalni modeli, ako su pravilno modelirani, oslonjeni i opterećeni, daju rezultate vrlo bliske onima koji se dobiju analizom globalnog 3D MKE modela.

3.1. Strukturni model

Parcijalni MKE model izrađen je korištenjem programa MAESTRO [5], a modeliranje je izvršeno grubom mrežom makroelemenata. Prilikom modeliranja strukture (gustoća mreže, implementacija opterećenja,...) metodom konačnih elemenata korištene su klasifikacijske upute DNV za direktne proračune (*Level 1*) brodova za prijevoz RORO brodova [6].

Karakteristike izgrađenog MKE modela su slijedeće, (vidi slike 7-10):

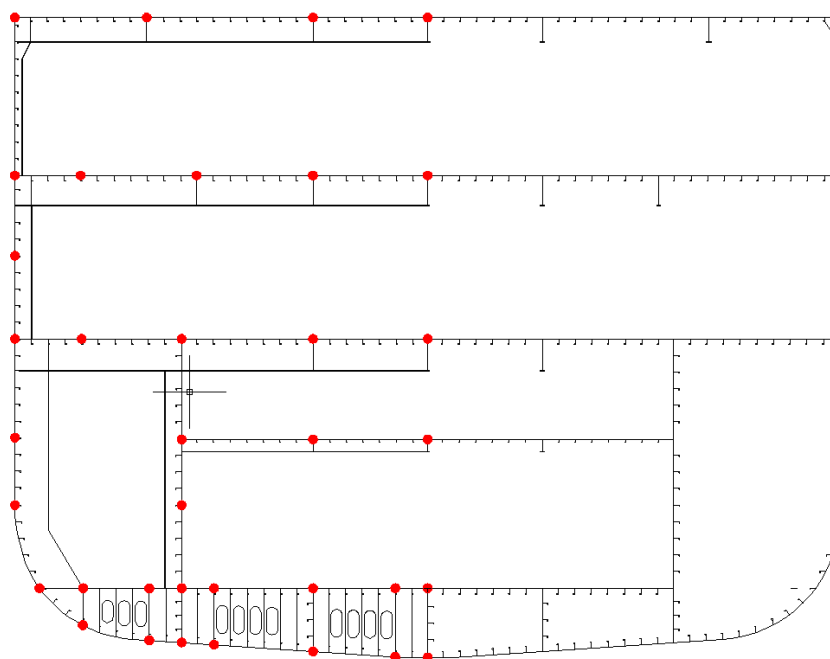
- Model se proteže u duljini deset razmaka okvirnih rebara preko cijele širine broda. Raspon modela po duljini odabran je na način da okvirna rebra oko sredine modela budu dovoljno daleko od krajeva kako rubni uvjeti ne bi imali utjecaj na odziv na tim poprečnim presjecima.
- Model obuhvaća cijeli uzdužno i poprečno efikasni materijal. Nadgrađe nije uzeto u obzir.
- Sugerirana gustoća mreže slijedi topologiju primarnog orebrenja, roštilja:
 - uzdužno, jedan/dva makroelementa između poprečnih okvira,
 - vertikalno, barem jedan red makroelemenata između paluba,
 - poprečno, dovoljan broj elemenata da se zadrži omjer stranica.

Orebreni paneli modelirani su ukrepljenim četverokutnim makroelementima dok su rebra, sponje i jaki uzdužni nosači modelirani grednim elementima. Sekundarno orebrenje uključeno je kao dio makroelementa orebrenog panela ili kao linijski štapni/gredni elementi u čvorovima. Ukrepljeni membranski četverokutni makroelementi, kao specijalni konačni elementi, detaljnije su opisani u [5]. Oni nam omogućavaju veću fleksibilnost, brzinu modeliranja i naknadnog remodeliranja uslijed eventualne promjene mreže. Zbog toga ih je u procesu projektiranja, koji zahtijeva mnogo promjena i iteracija, znatno efikasnije koristiti od standardnih konačnih elemenata. Oni, također, omogućuju laku i brzu provjeru kriterija podobnosti kao što su razni oblici izvijanja ili pojava plastičnosti. Naprezanja uslijed savijanja i rastezanja jakih uzdužnih nosača (npr. podveze) i jakih poprečnih nosača (rebra, sponje) računaju se u 3 točke (1.-u točki prvog čvora, 2.-u točki drugog čvora i 3.- u sredini raspona nosača) te na takav način dobivamo detaljniju distribuciju naprezanja duž nosača. Koordinatni sustav definiran je na slijedeći način:

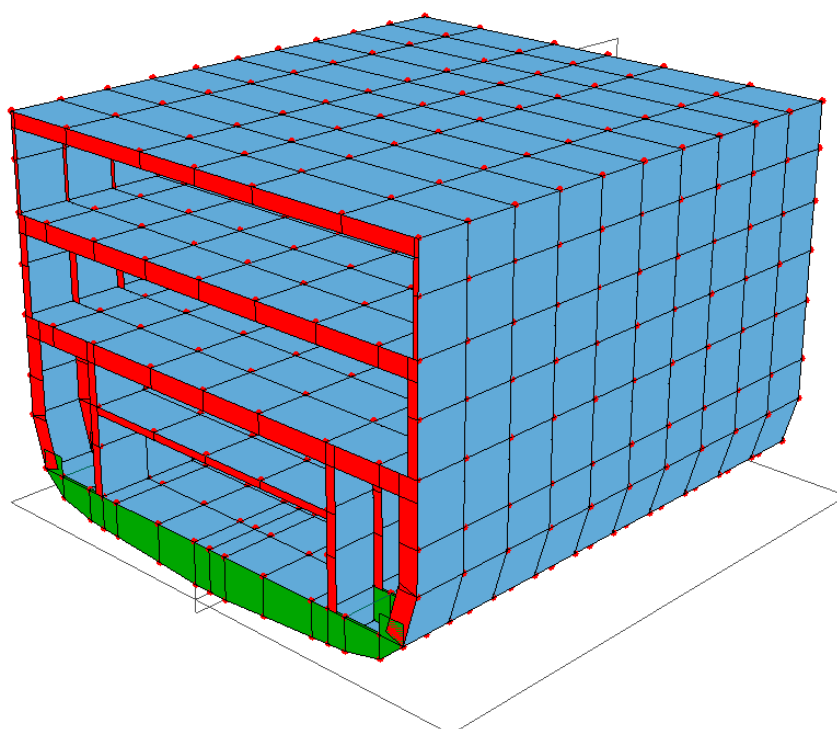
- ishodište koordinatnog sustava definirano je u sjecištu centralne ravnine i osnovice;
- globalna os X definirana je u smjeru uzdužne ravnine broda, pozitivna je prema naprijed;
- globalna os Z definirana je u poprečnom smislu, pozitivna je prema desnoj strani;
- globalna os Y definirana je kao os u vertikalnom smjeru, pozitivna je prema gore.

Prvi korak u izradi modela, bilo je postavljanje čvorova u 3D prostoru. Čvorovi se postavljaju na mjesta gdje se spajaju ukrepni elementi sa vojevima na način da se unesu njihove prostorne koordinate (x, y, z) u odnosu na ishodište koje je postavljeno na osnovici broda. Odabrani čvorovi prikazani su na slici 8.

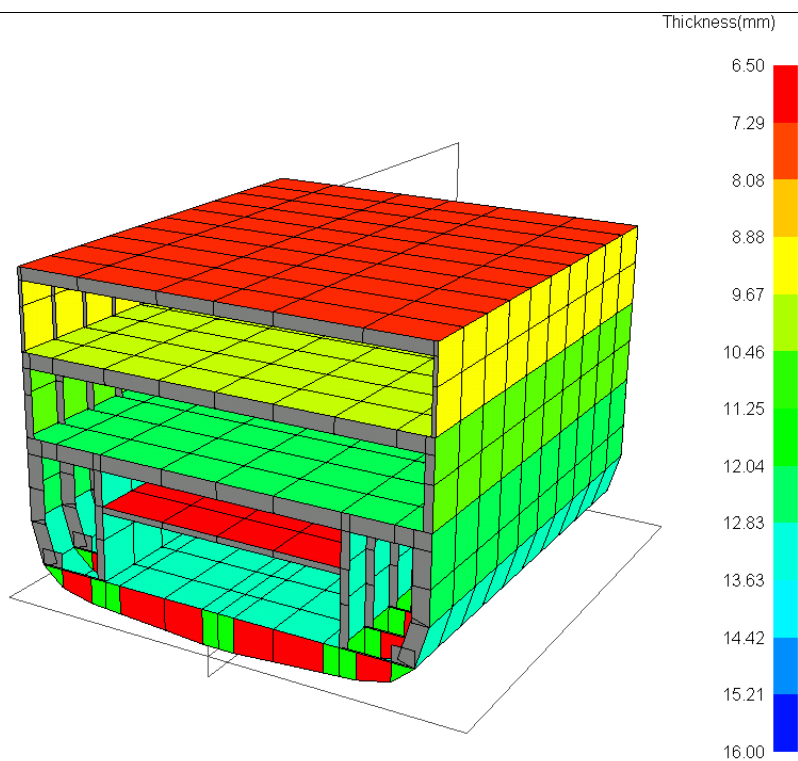
Nakon unosa čvorova, između njih su postavljeni vojevi čelika kojima su pridružene značajke debljine i vrste materijala. Svaki voj predstavlja jedan konačan element. Konačni izgled prototipnog modela prikazan je slikom 8, debljine oplata na slici 9, a vrste čelika na slici 10.



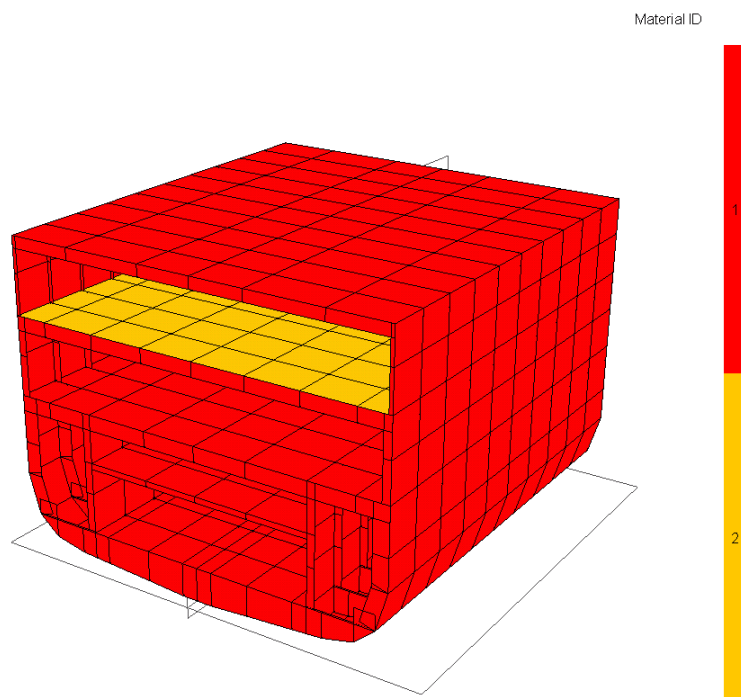
Slika 7. Odabrani čvorovi



Slika 8. Parcijalni 3D MKE model (deset razmaka okvira)



Slika 9. Debljine oplata



Slika 10. Vrste čelika korištene za izradu modela

Korištene su se dvije vrste čelika:

- ST 24 – običan brodograđevni čelik $E = 2,04 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ i $\sigma_{\text{dop}} = 235 \text{ N/mm}^2$
- AH 36 – čelik povišene čvrstoće $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ i $\sigma_{\text{dop}} = 355 \text{ N/mm}^2$

3.2. Implementirana opterećenja

ROPAX tipovi brodova imaju takvu formu i raspored vlastite težine (prilično jednolik uzduž broda) da se uvijek na mirnoj vodi nalaze u pregibnom stanju tj. imaju višak uzgona na sredini, a težine na krajevima. Uslijed takve distribucije statičkog opterećenja, obično su opterećeni vrlo visokim pregibnim momentom savijanja na mirnoj vodi. Kombinacija maksimalnog pregibnog momenta savijanja na mirnoj vodi i maksimalnog valnog pregibnog momenta daje maksimalna uzdužna naprezanja. Kombinacija minimalnog pregibnog momenta savijanja na mirnoj vodi i maksimalnog valnog pregibnog momenta daje mogućnost pojave tlačnih naprezanja u gornjim palubama.

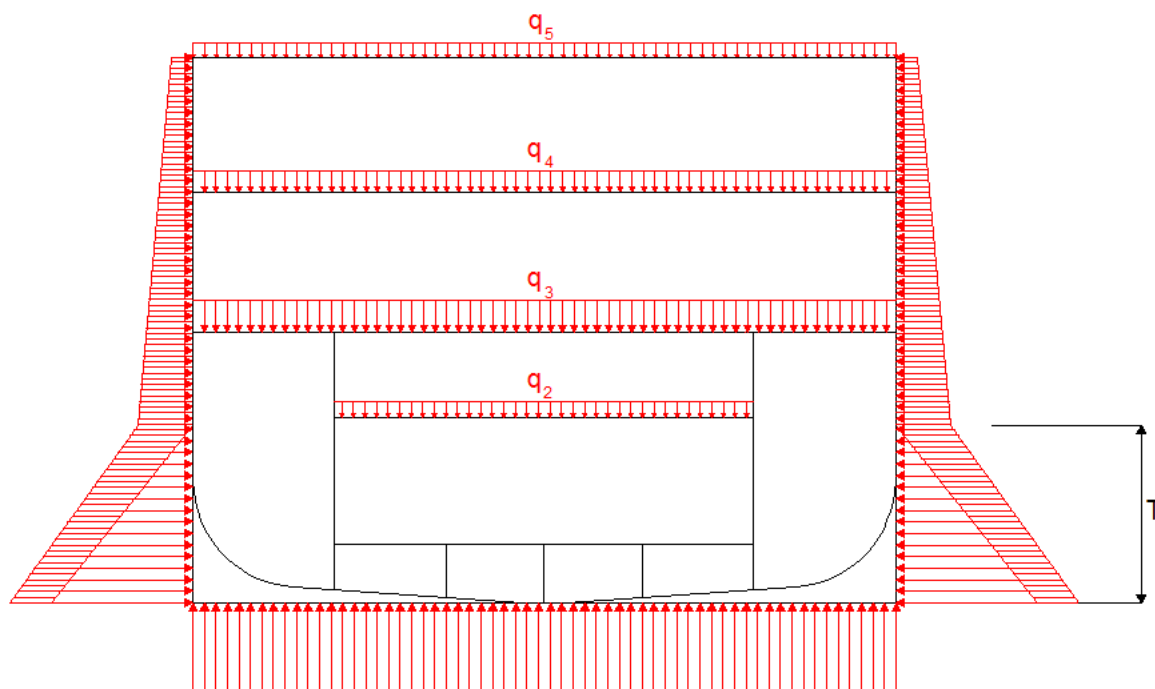
Proračun valnih opterećenja (vertikalnih momenata savijanja), akceleracija i tlakova izveden je prema pravilima klasifikacijskog društva DNV [2]. Opterećenje kamiona i automobila prikazane su u formi tlaka na palube, dok su kod nesimetričnih slučajeva opterećenja implementirane horizontalne sile. Vlastitu težinu strukturnog modela program automatski izračunava i implementira kao čvorne sile. Analizirano je 4 slučaja opterećenja prema Pravilima DNV, te su sumirani kroz Tablicu 3.

Tablica 3 Slučajevi opterećenja

SLUČAJ OPTEREĆENJA	KRATKI OPIS
LC 1	Puno opterećenje po palubama osim palube D1 + ubrzanje/ Projektni gaz / PREGIB
LC 2	Puno opterećenje po palubama + ubrzanje/ Projektni gaz / PROGIB
LC 3	Puno opterećenje po palubama + ubrzanje/ nagnuti brod / PROGIB
LC 4	Puno opterećenje po palubama + ubrzanje/ nagnuti brod / PREGIB

Detaljni prikaz svih komponenata opterećenja, koje zbrojene daju slučaj opterećenja, prikazan je kroz slike 11 - 14 i tablice 4 – 6.

- Slučaj opterećenja – LC1



Slika 11. Slučaj opterećenja –LC1

Tablica 4. LC1 – Puno opterećenje po palubama osim palube D1 + ubrzanje/projektne
gaz/PREGIB

OZNAKA	IZNOS
q_2	3 kN/m ²
q_3	30 kN/m ²
q_4	15 kN/m ²
q_5	3,5 kN/m ²
T	7,5 m
$M_{total-hogg}$	$2,245 \cdot 10^6$ kN/m ²

Vertikalno opterećenje paluba teretom za simetrični slučaj opterećenja računa se prema slijedećem izrazu [6]:

$$P_v = (\rho \cdot H + m_s)(g_0 + 0.5a_v) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (3.1)$$

gdje su:

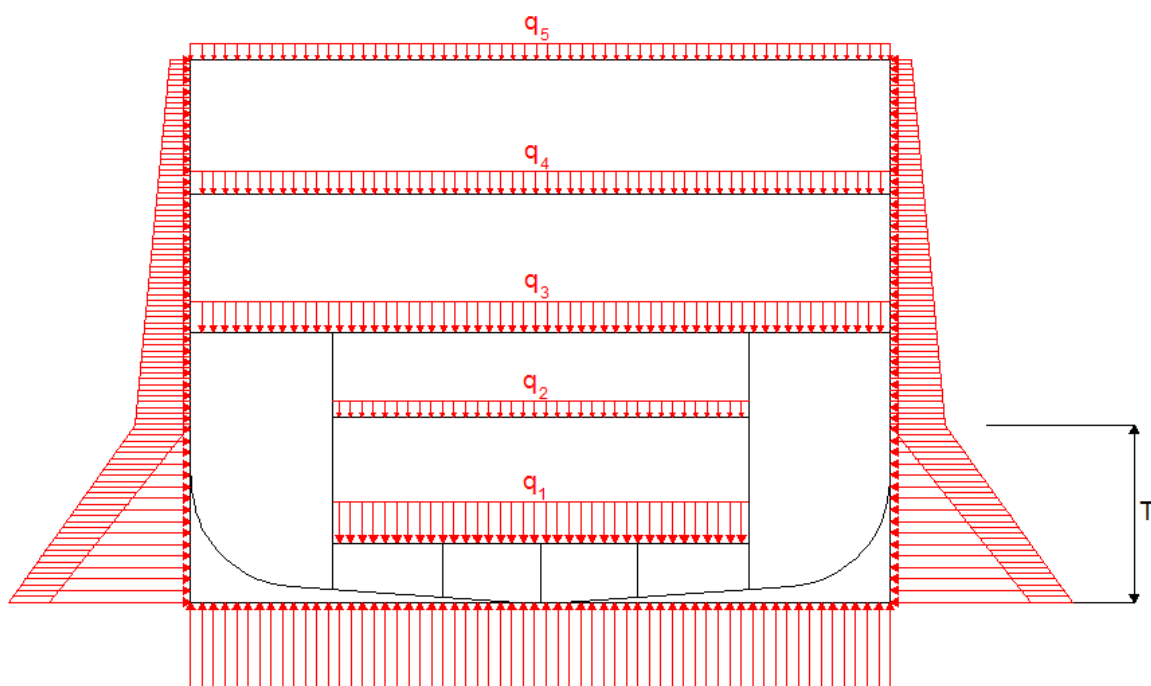
$g_0 = 9.81 \text{ m/s}^2$ - ubrzanje gravitacijskog polja zemlje,

$\rho \cdot H$ [t/m²] - uniformno raspoređen teret na palubi za razmatrano stanje krcanja,

m_s [t/m²] - vlastita masa palube.

a_v [m/s²] - vertikalna akceleracija broda na razmatranom presjeku,

- Slučaj opterećenja – LC2

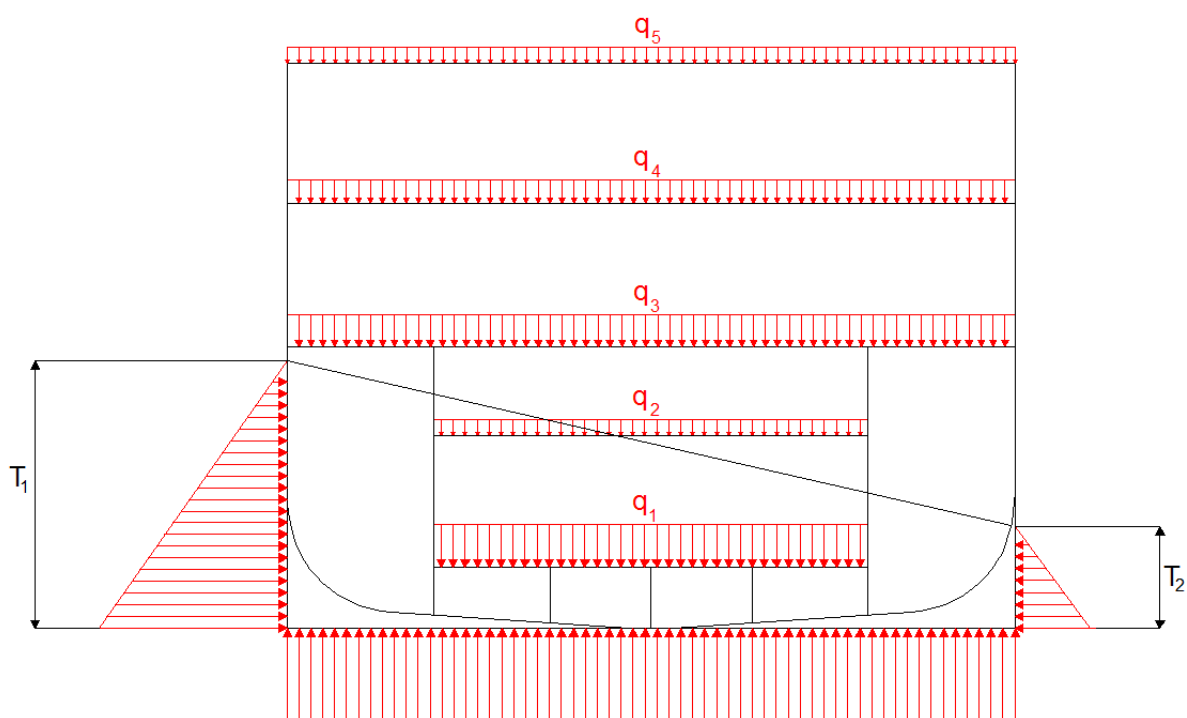


Slika 12. Slučaj opterećenja –LC2

Tablica 5. LC2 – Puno opterećenje po palubama + ubrzanje/projektni gaz/PROGIB

OZNAKA	IZNOS
q_1	40 kN/m ²
q_2	3 kN/m ²
q_3	30 kN/m ²
q_4	15 kN/m ²
q_5	3,5 kN/m ²
T	7,5 m
$M_{total-sagg}$	-1,311·10 ⁶ kN/m ²

- Slučaj opterećenja – LC3

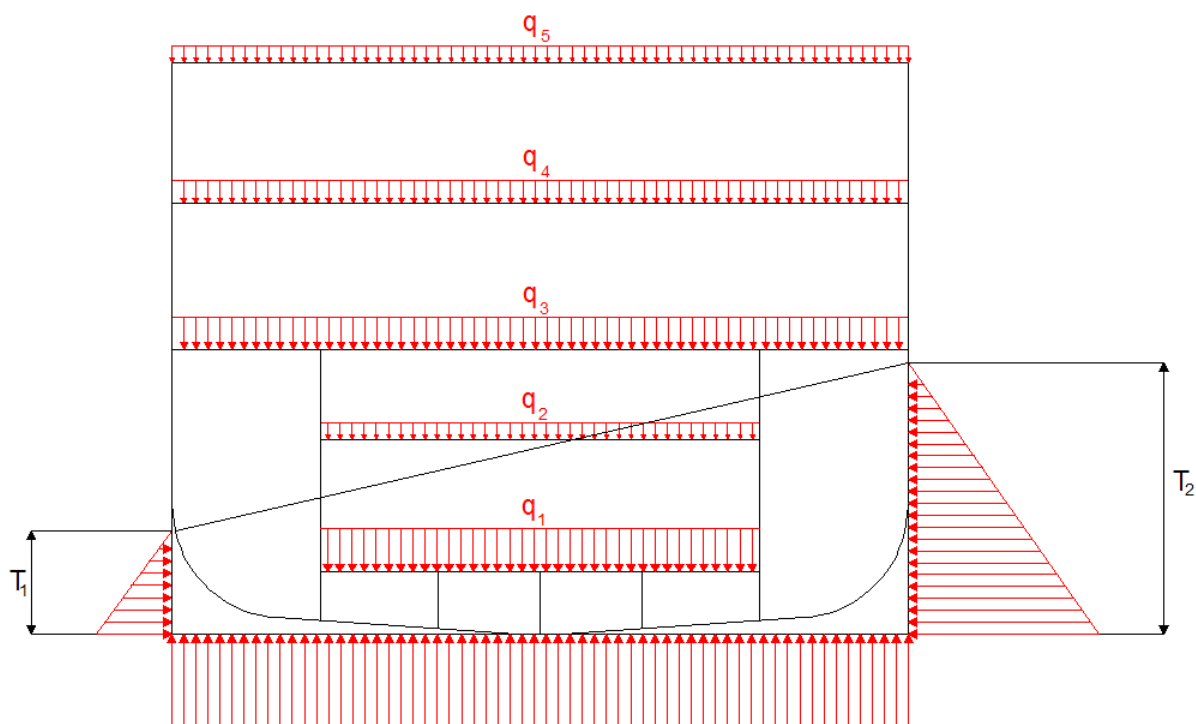


Slika 13. Slučaj opterećenja –LC3

Tablica 6. LC3 – Puno opterećenje po palubama + ubrzanje/ nagnuti brod / PREGIB

OZNAKA	IZNOS
q_1	40 kN/m ²
q_2	3 kN/m ²
q_3	30 kN/m ²
q_4	15 kN/m ²
q_5	3,5 kN/m ²
<i>Kut poprečnog nagiba</i>	27,8°
M_{tot}	1,2·10 ⁶ kN/m ²

- Slučaj opterećenja LC4



Slika 14. LC4

Tablica 7. LC4 – Puno opterećenje po palubama + ubrzanje/ nagnuti brod / PREGIB

OZNAKA	IZNOS
q_1	40 kN/m ²
q_2	3 kN/m ²
q_3	30 kN/m ²
q_4	15 kN/m ²
q_5	3,5 kN/m ²
<i>Kut poprečnog nagiba</i>	27,8°
M_{tot}	1,2·10 ⁶ kN/m ²

Vrlo je važno odrediti najgore realno stanje krcanja obzirom na nesimetrični slučaj opterećenja (LC3-4) i provjeriti mogućnost pojave klimanje (eng. *racking*) konstrukcije. To je ono stanje krcanja kod kojega je najveći dopušteni teret ukrcan na najgornje palube. Moment klimanja se računa uzimajući u obzir masu tereta (kamiona i automobila) i masu same strukture pojedine palube prema slijedećem izrazu:

$$M_R = \sum_i (M_i + m_{s,i}) \cdot a_{t,i} \cdot (z_i - z_{\text{main}}) \quad (3.1)$$

gdje su;

M_i - masa tereta na palubi i ,

$m_{s,i}$ - vlastita masa palube i ,

$a_{t,i}$ - poprečna akceleracija na palubi i ,

z_i - vertikalna udaljenost palube i od osnove,

z_{main} - vertikalna udaljenost palube pregrada (glavne palube) od osnove.

Vertikalna i poprečna opterećenja paluba teretom P_v i P_t , računaju se prema poglavljima 3.3 i 3.4 [6].

Vertikalno opterećenje paluba teretom za nesimetrični slučaj opterećenja računa se prema slijedećem izrazu:

$$P_v = g_0 \cdot (\rho \cdot H + m_s) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (3.2)$$

gdje su:

$g_0 = 9.81 \text{ m/s}^2$ - ubrzanje gravitacijskog polja zemlje,

$\rho \cdot H \text{ [t/m}^2\text{]}$ - uniformno raspoređen teret na palubi za razmatrano stanje krcanja,

$m_s \text{ [t/m}^2\text{]}$ - vlastita masa palube.

Poprečno opterećenje paluba teretom za nesimetrični slučaj opterećenja računa se prema slijedećem izrazu:

$$P_t = (\rho \cdot H + m_s) a_t(z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (3.3)$$

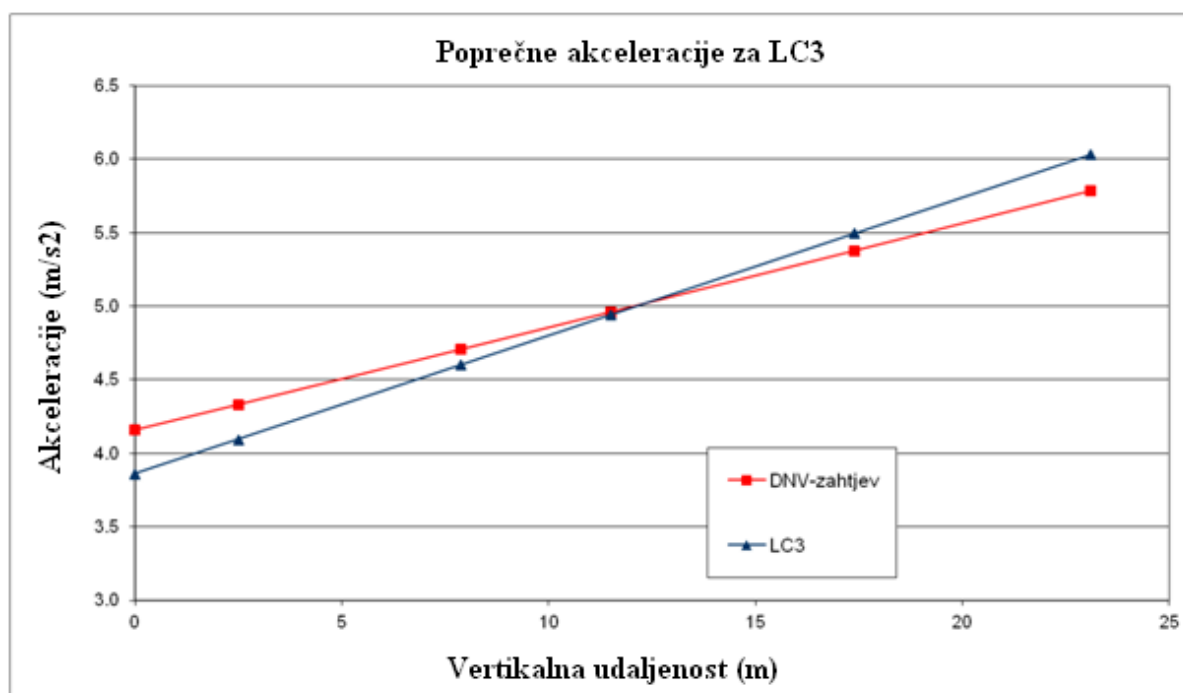
gdje su:

$a_t(z) \text{ [m/s}^2\text{]}$ - poprečna akceleracija broda promjenjiva po visini z ,

$\rho \cdot H \text{ [t/m}^2\text{]}$ - uniformno raspoređen teret za razmatrano stanje krcanja,

$m_s \text{ [t/m}^2\text{]}$ - vlastita masa palube.

Raspored poprečne akceleracije po visini broda uslijed zahtjeva Pravila i onih implementiranih u MKE modelu prikazan je na slici 15.

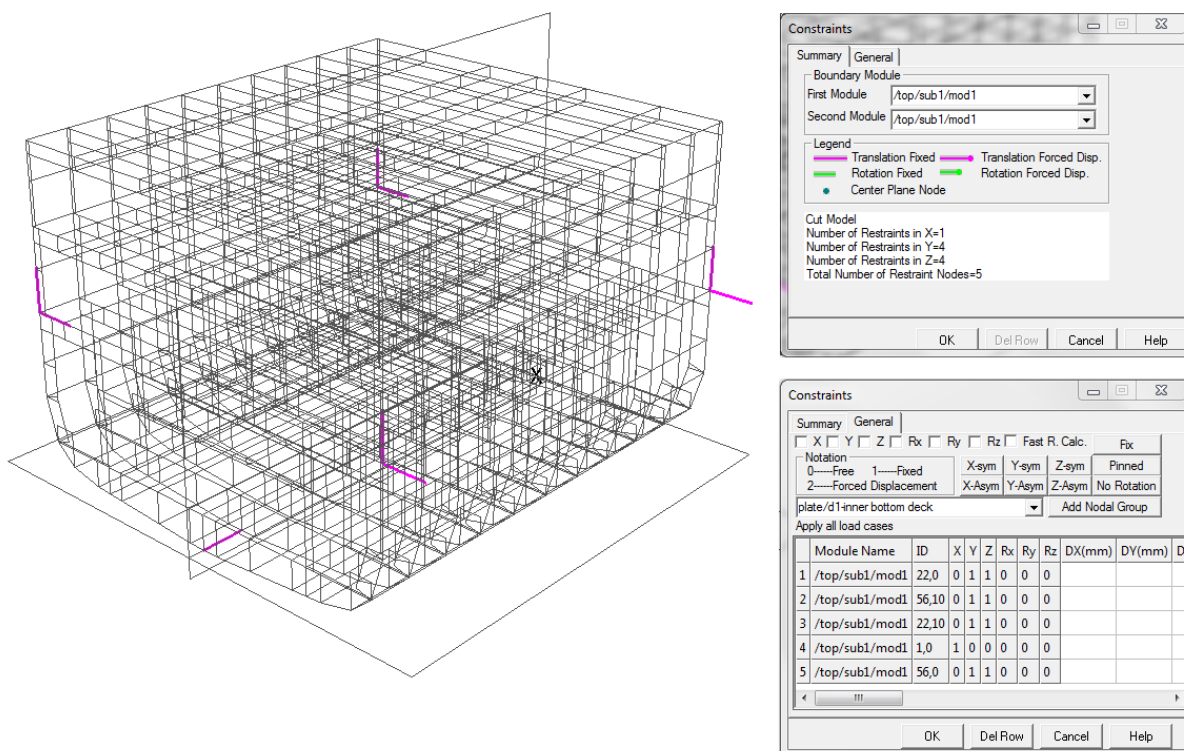


Slika 15. Dijagram rasporeda poprečne akceleracije po visini broda

3.3. Rubni uvjeti

Rubni uvjeti na krajnjim poprečnim presjecima izdvojene konstrukcije srednjeg dijela broda mogu se definirati silama, pomacima ili njihovom kombinacijom.

Rubni uvjeti pomaka su propisane vrijednosti stupnjeva slobode u čvorovima na području presjeka modela s ostatkom konstrukcije ili u karakterističnim zadanim čvorovima odnosno fizikalnim osloncima. Rubni uvjeti pomaka sprječavaju pomake (translacije i rotacije) modela kao krutog tijela i prikazani su na slici 16. Oslonci se postavljaju na jaku strukturu zbog preuzimanja mogućih sila reakcija.



Slika 16. Rubni uvjeti

Rubni uvjeti sila, u vidu poprečnih vertikalnih sila i momenata savijanja, implementirani su na početnom rubu modela na način da se u sredini modela postigne maksimalni traženi vertikalni moment savijanja.

3.4. Analiza podobnosti konstrukcije

Zadatak strukturne analize podobnosti je na temelju odziva naprezanja i deformacija dobivenih proračunom, identificirati elemente strukture koji neće moći izdržati nametnuta opterećenja. Takvi će elementi biti redimenzionirani, odnosno povećat će im se određene dimenzije. Model podobnosti pruža informaciju o prekoračenju dozvoljenog odziva konstrukcije i o nedovoljnoj sigurnosti elemenata strukture. Predstavljen je bibliotekom analitički zadanih projektnih kriterija - BIBLIOTEKA OGRANIČENJA koja ograničava izbor projektnih varijabli samo na one za koje će projekt konstrukcije biti podoban, odnosno koje će zadovoljiti sve projektne kriterije ograničenja. Biblioteku ograničenja čini matematička formulacija projektnih kriterija u formi projektnih ograničenja kao funkcije projektnih varijabli. Izlazne rezultate BIBLIOTEKE OGRANIČENJA predstavljaju, za pojedine kriterije ograničenja, vrijednosti za IZDRŽLJIVOST - C (*Capability*), ZAHTJEV - D (*Demand*) i PARAMETAR PODOBNOSTI - g (*adequacy parameter*). Odnos gore navedenih vrijednosti prikazan je u normaliziranom obliku, izrazom:

$$g = \frac{C - \gamma D}{C + \gamma D}$$

Gdje je:

g – faktor podobnosti $-1 \leq g \leq 1$

C – izdržljivost (*Capability*)

D – naprezanje (*Demand*)

γ - faktori sigurnosti

Parametar podobnosti g je rangiran između vrijednosti $+1$ ÷ -1 . Granični slučajevi su:

$$g \rightarrow 1 \quad \text{ako } D \rightarrow 0 \quad ; \quad g \rightarrow -1 \quad \text{ako } C \rightarrow 0$$

Sigurnost elemenata strukture je zadovoljena ako se vrijednosti parametra podobnosti nalaze između 0 i 1 ($g \geq 0$). U slučaju da pojedini element nije sposoban podnijeti opterećenje, faktor podobnosti g će biti negativan ($g < 0$). Model kriterija strukturne podobnosti prikazan je kroz Tablicu 7, a koristi se kao standardni set kriterija u programu MAESTRO [5], s tim da su faktori sigurnosti definirani prema zahtjevima DNV.

Kroz tablicu 8 prikazana su dozvoljena naprezanja prema Pravilima DNV [2], gdje je σ dopušteno naprezanje, a f_1 faktor materijala koji iznosi:

$f_1 = 1,0$ za obični brodograđevni čelik

$f_1 = 1,6$ za čelik povišene čvrstoće AH36

Tablica 8 . Biblioteka kriterija programa MAESTRO i faktori sigurnosti prema DNV

Br.	Kriterij	Opis kriterija	γ_{DNV}
1	PCSF	Panel Collapse - Stiffener Flexure	1.11
2	PCCB	Panel Collapse - Combined Buckling (Biaxial+Shear)	1.11
3	PCMY	Panel Collapse - Membrane Yield	1.00
4	PCSB	Panel Collapse - Stiffener Buckling	1.11
5	PYTF	Panel Yield - Tension Flange	1.04
6	PYTP	Panel Yield - Tension Plate	1.04
7	PYCF	Panel Yield - Compression Flange	1.04
8	PYCP	Panel Yield - Compression Plate	1.04
9,10	PSPB	Panel Serviceability - Plate Bending	1.04
11	PFLB	Panel Failure - Local Buckling	1.10
12	GCT	Girder Collapse Tripping	1.18
13	GCCF	Girder Collapse Compression in Flange	1.18
14	GCCP	Girder Collapse Compression in Plate	1.18
15	GYCF	Girder Yield Compression in Flange	1.24
16	GYCP	Girder Yield Compression in Plate	1.24
17	GYTF	Girder Yield Tension in Flange	1.24
18	GYTP	Girder Yield in Tension in Plate	1.24
19-21	FCPH	Frame Collapse, Plastic Hinge	1.50
22-24	FYCF	Frame Yield, Compression in Flange	1.31
25-27	FYTF	Frame Yield, Tension in Flange	1.31
28-30	FYCP	Frame Yield, Compression in Plate	1.31
31-33	FYTP	Frame Yield, Tension in Plate	1.31

Tablica 9. Dozvoljena naprezanja prema Pravilima DNV [2]

Structure	Seagoing or harbour condition	Type of stress				Normal stress σ (N/mm ²)	Shear stress τ (N/mm ²)		Equivalent stress σ_e (N/mm ²)
		Hull girder stresses	Transverse bottom, side or deck girder stresses	Longitudinal bottom, side or deck girder stresses	Local stiffener bending stresses		One plate flange	Two plate flanges	
Longitudinal girders	Seagoing	X ¹⁾		X		190 f ₁	90 f ₁	100 f ₁	
	Harbour	X ¹⁾		X		190 f ₁	100 f ₁	110 f ₁	
Transverse and vertical girders	Seagoing		X			160 f ₁	90 f ₁	100 f ₁	180 f ₁
	Harbour		X			180 f ₁	100 f ₁	110 f ₁	200 f ₁
Girder brackets	Seagoing		(X)	(X)		200 f ₁ ²⁾			
	Harbour		(X)	(X)		220 f ₁ ²⁾			
Longitudinal stiffeners	Seagoing and harbour				X	160 f ₁			
	Seagoing and harbour			X	X	180 f ₁	90 f ₁		
	Seagoing and harbour	X ¹⁾		X	X	245 f ₁			
Transverse and vertical stiffeners	Seagoing and harbour		(X)	(X)	X	180 f ₁			
Stiffener brackets	Seagoing and harbour		(X)	(X)	X	225 f ₁			
X Stress component to be included (X) Stress component to be included when relevant 1) Includes the hull girder stresses at a probability of exceedance of 10 ⁻⁴ , see 406. 2) Shows allowable stress in the middle of the bracket's free edge. For brackets of unproven design, additional stress analysis in way of stress concentration areas may be required. Reference is made to acceptance criteria for local structure analysis, F300.									

Na osnovu dozvoljenih naprezanja definirani su faktori sigurnosti γ za MAESTRO kriterije popuštanja, vidi Tablicu 8. Zadani faktori sigurnosti trebali bi uključivati i nepravilnosti u geometriji i zaostala naprezanja, budući da njihov utjecaj nije direktno uključen u formule.

U ovom radu, promatrani na razini ukrepljenog panela, posebno su razmatrani kriteriji izvijanja PCSF, PCCB, PFLB, te kriteriji popuštanja jakih poprečnih elementa (rebara i sponja) u oplati i pojasu FYCF, FYCP, FYTF, FYTP.

PCSF – kod ovog kriterija razmatraju se tri načina kolapsa panela koji su uzrokovani savijanjem i uzdužnom kompresijom ukrepe;

I način: oštećenje ukrepe uslijed izvijanja

II način: oštećenje oplata uslijed izvijanja

III način : kombinirano oštećenje ukrepe i oplata uslijed izvijanja

PCCB –elastično izvijanje ukrepljenog panela nastalo uslijed uzdužnih, poprečnih, smičnih naprezanja u vidu interakcijske formule.

PFLB – promatra se lokalno izvijanje (plastično ili elastično) oplata između ukrepa zbog kombiniranog naprezanja

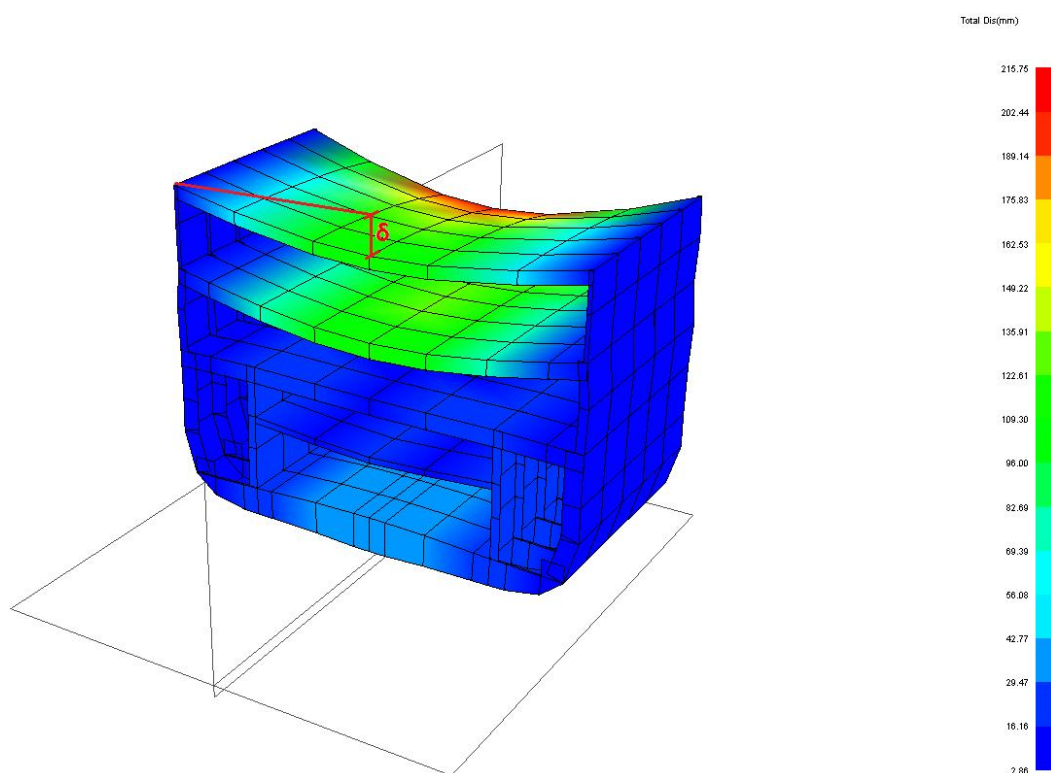
PCSB – izvijanje ukrepa (lateralno- torzijsko)

Nakon što su detektirana oštećenja modela tj. nedostatnosti elemenata strukture predlažu se korekcije. One se sastoje od povećanja debljina oplata, ukrepa ili pak postavljanja ukrepa protiv izvijanja (*anti-buckling*).

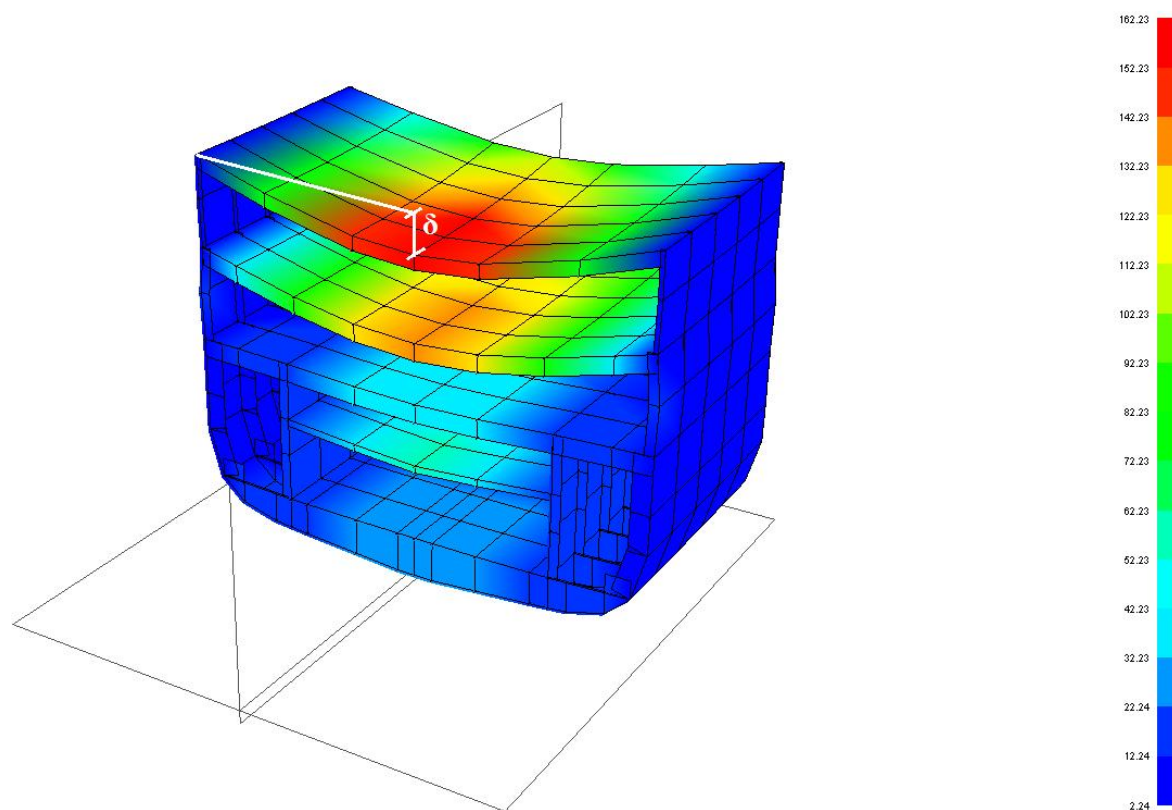
3.5. Analiza prototipa

3.5.1. Deformacije

Zbog zahtjeva na svjetlosnu visinu (vertikalna udaljenost od dna skladišta do palubne sponje), posebnu je pozornost potrebno obratiti na progibe koji se javljaju uslijed opterećenja. Najveći progibi kod RORO brodova javljaju se na sredini broda, budući da su, zbog nepostojanja pregrada i upora u skladištima, palube i palubne sponje čitavom svojom širinom nepoduprte, osim na samim krajevima broda. Slike 18 i 19 prikazuju progibe uslijed opterećenja za LC1 i LC2. Progibi za svaku palubu ovisno o slučaju opterećenja, prikazani su u Tablici 9.



Slika 17. Progibi za LC1



Slika 18. Progibi za LC2

Tablica 10. Progibi po palubama

	Progib LC1	Progib LC2	Progib LC3/LC4
PALUBA 1	41 mm	- 24 mm	8 mm
PALUBA 2	- 20 mm	- 54 mm	- 23 mm
PALUBA 3	- 12 mm	- 41 mm	- 9 mm
PALUBA 4	- 122 mm	- 142 mm	- 83 mm
PALUBA 5	- 119 mm	- 163 mm	- 86 mm

Da bi se dobila svijetla visina pojedine palube, od ukupne visine skladišta mora se oduzeti visina struka sponje, debljina prirubnice sponje, debljina izolacije i konačno progibi.

Tablica 10. prikazuje da li su svijetle visine za pojedinu palubu zadovoljene.

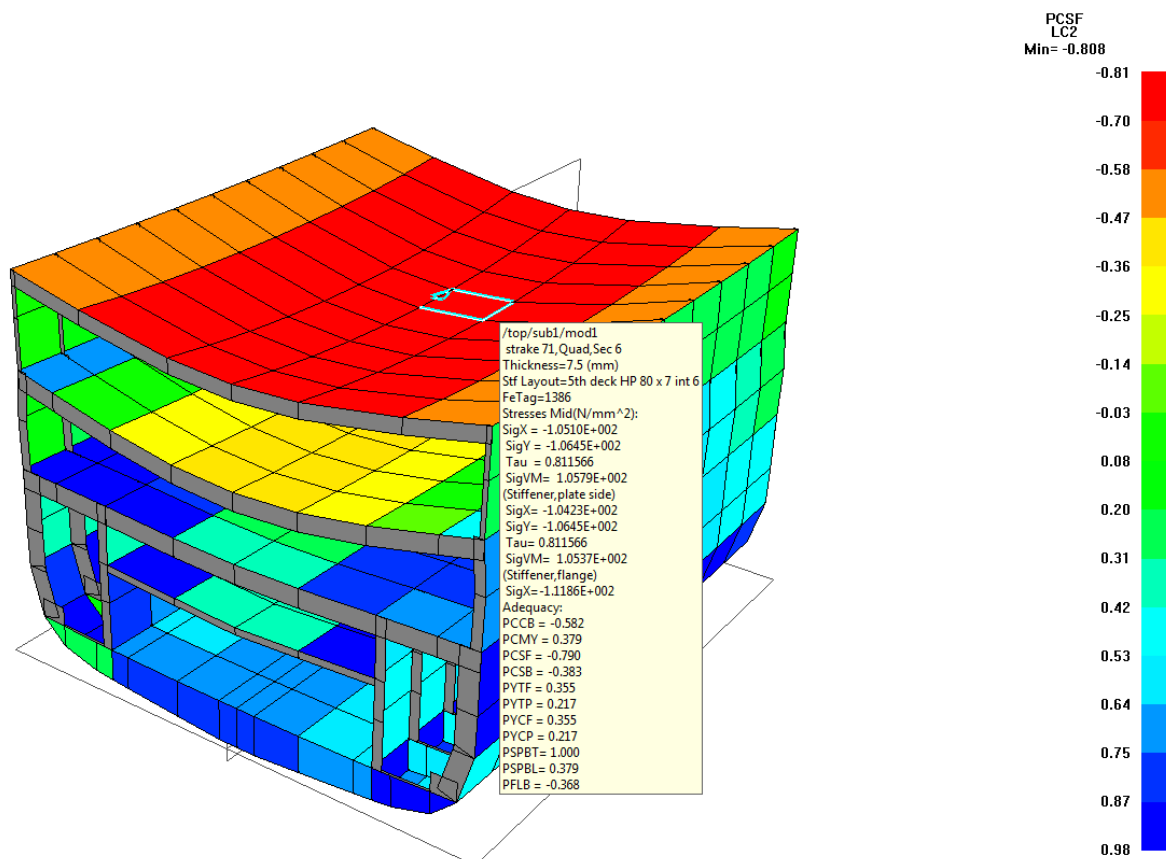
Tablica 11. Svijetla visine

	PALUBA 1	PALUBA 2	PALUBA 3	PALUBA 4
Zahtijevana svijetla visina	4,7 m	2,3 m	4,7 m	4,7 m
Visina skladišta	5,37 m	3,63 m	5,9 m	5,7 m
Visina struka sponje	0,44 m	1,15 m	1,07 m	0,88 m
Debljina prirubnice sponje	0,02 m	0,045 m	0,045 m	0,02 m
Debljina izolacije	0,05 m	0,05 m	0,05 m	0,05 m
Najveći progib	0,054 m	0,041 m	0,142 m	0,163 m
Svijetla visina	4,806 m	2,344 m	4,593 m	4,587
Zadovoljava	DA	DA	NE	NE

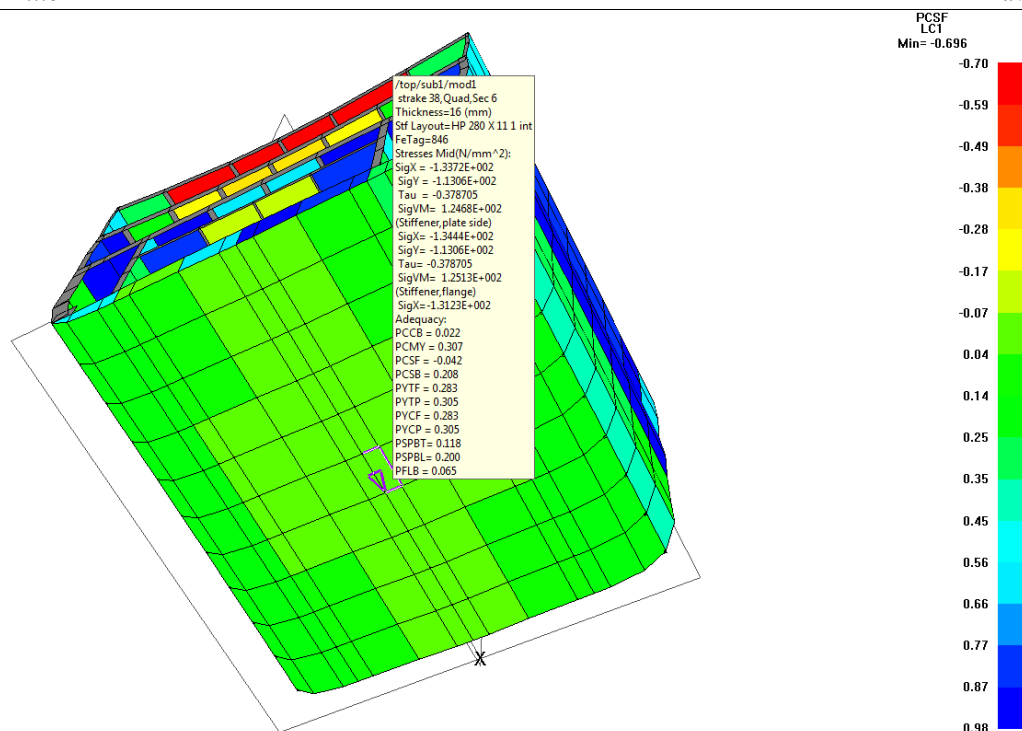
Skladišta na plubama 3 i 4 ne zadovoljavaju zahtijevanu svijetlu visinu, te će se iz tog razloga morati redimenzionirati.

3.5.2. Kriteriji

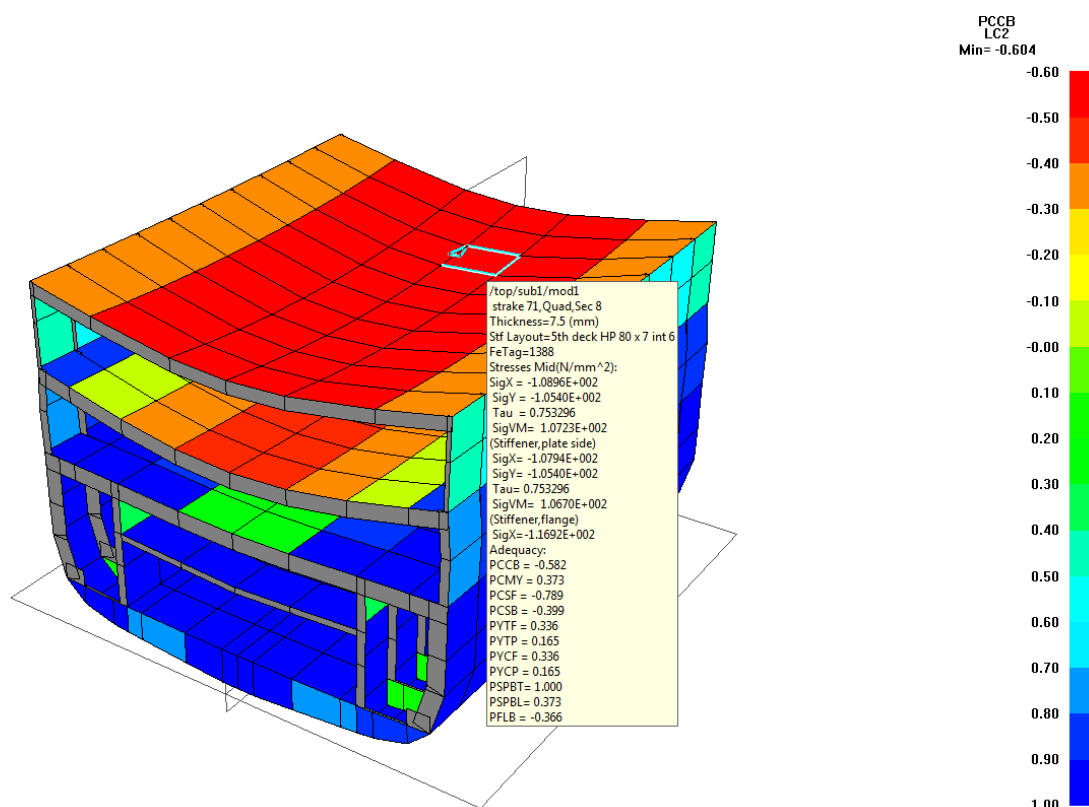
Slike koje slijede prikazuju nepodobne dijelove konstrukcije za različite kriterije i slučajeve opterećenja. Prikazani su najmanji postignuti faktori podobnosti za određeni slučaj opterećenja.



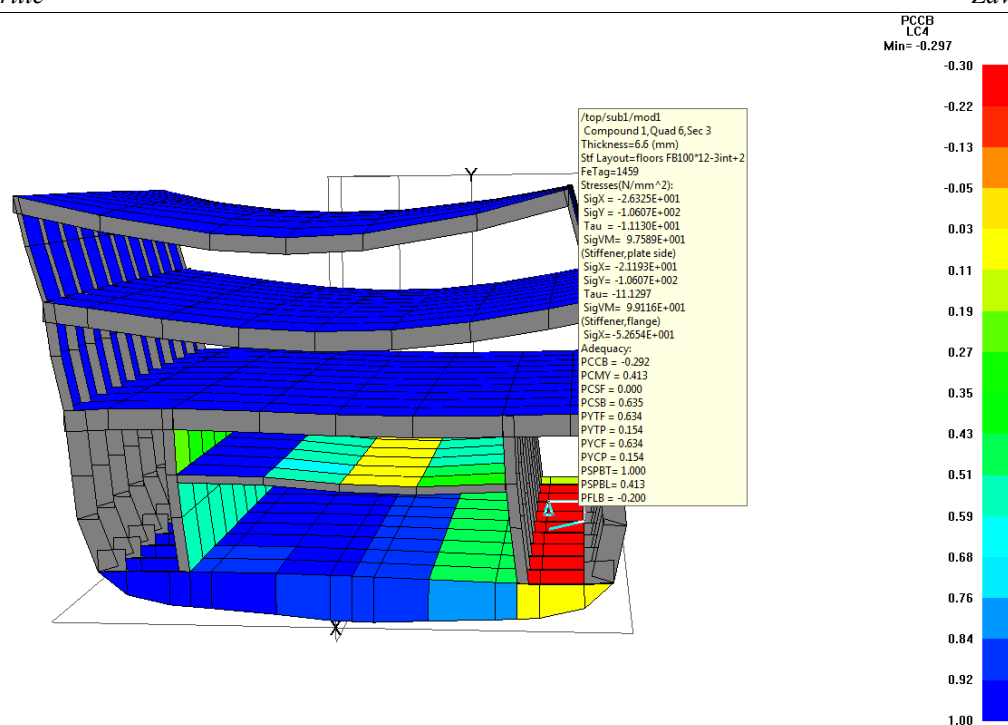
Slika 19. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube 5 u LC2 sa kriterijem PCSF



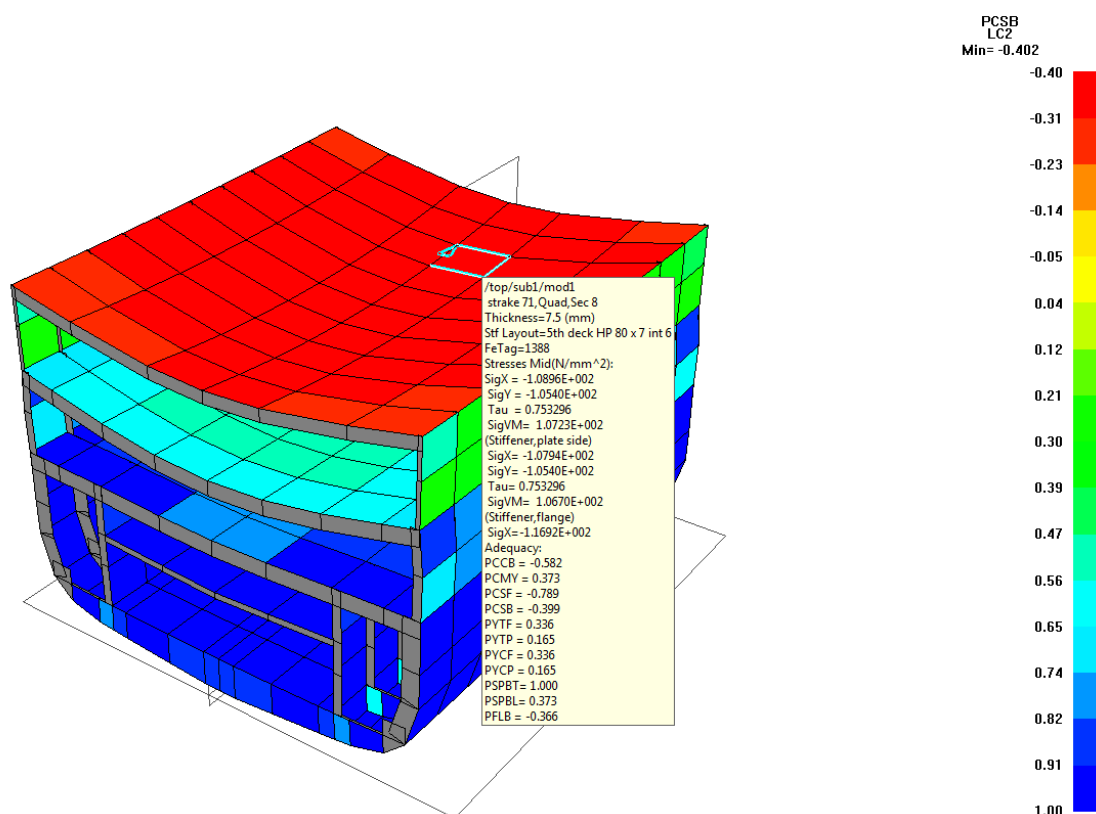
Slika 20. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna u LC1 sa kriterijem PCSF



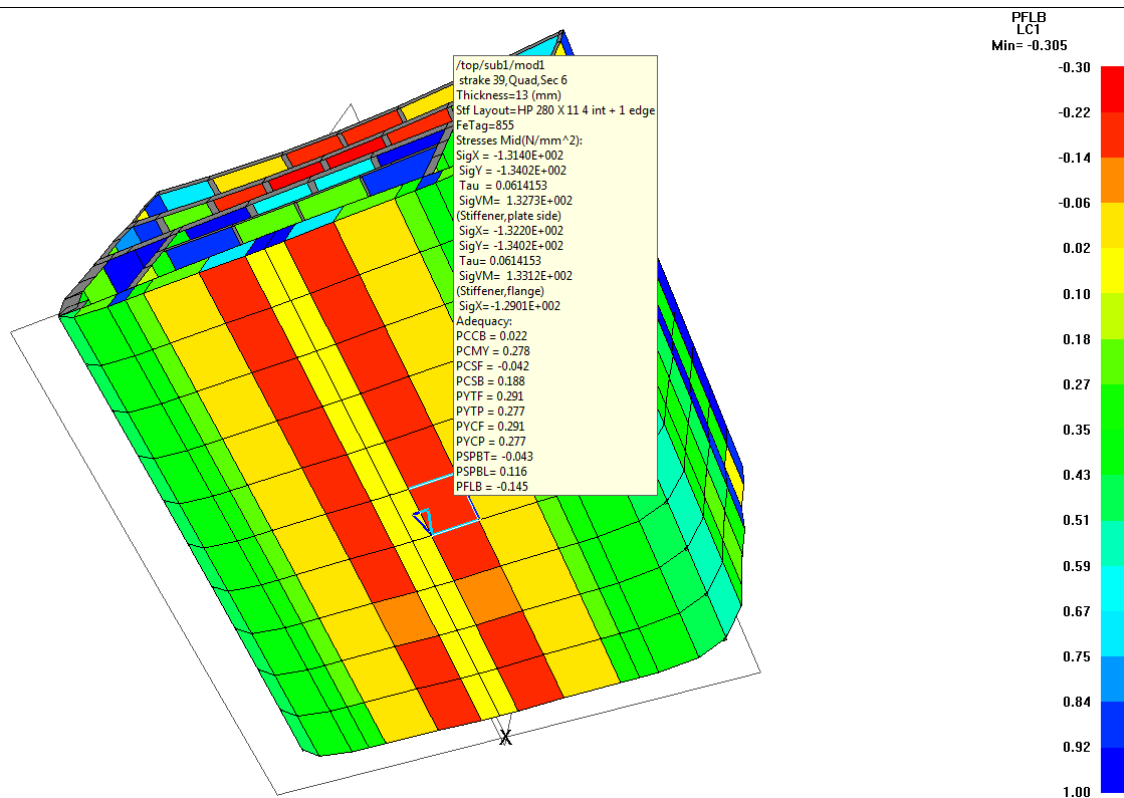
Slika 21. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube u LC2 sa kriterijem PCCB



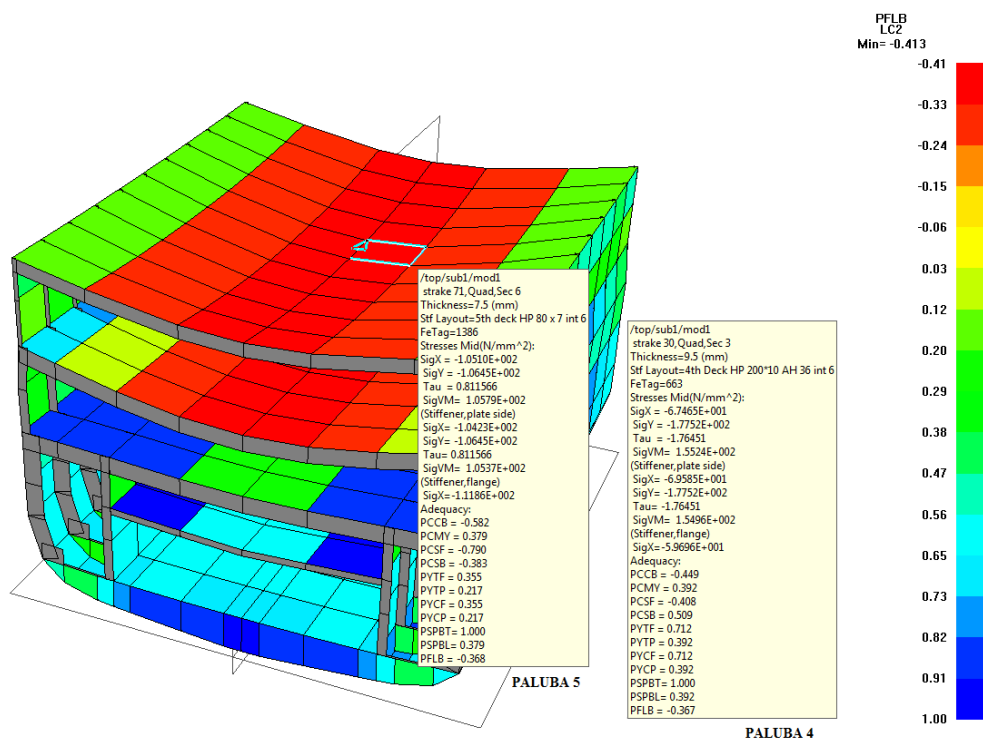
Slika 22. Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrénice u LC4 sa kriterijem PCCB



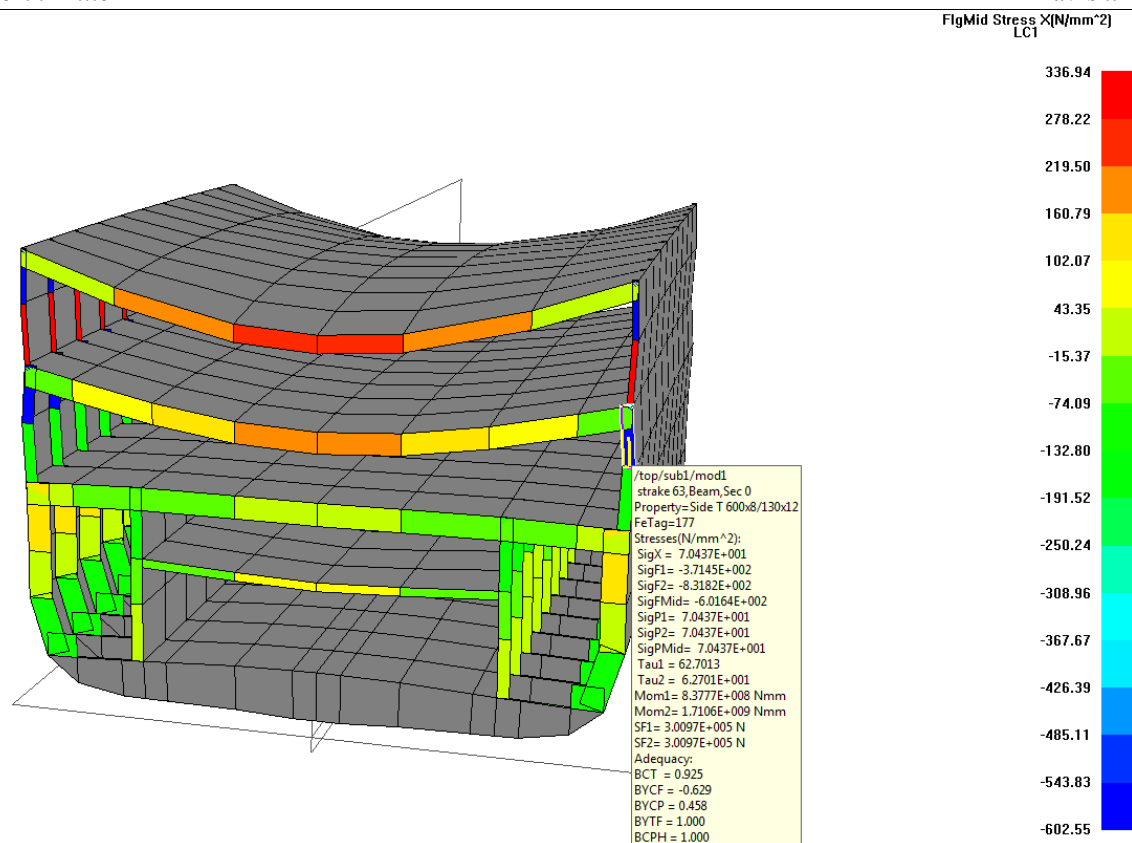
Slika 23. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube 5 u LC2 sa kriterijem PCSB



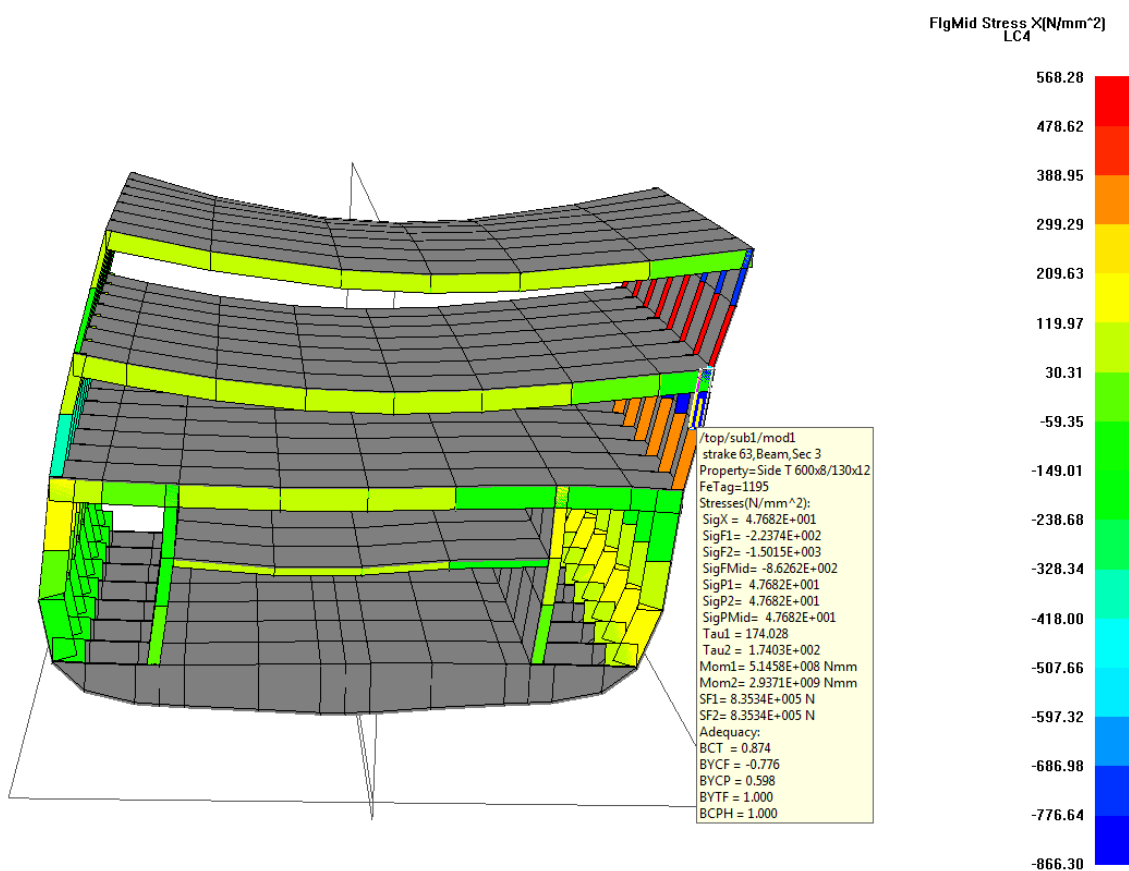
Slika 24. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna u LC1 sa kriterijem PFLB



Slika 25. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube 4 i 5 u LC2 sa kriterijem PFLB



Slika 26. Najveća naprezanja na okviru za LC1



Slika 27. Najveća naprezanja na okviru za LC3/LC4

Sažeti prikaz nepodobnih dijelova prototipne konstrukcije prikazan je Tablicom 12.

Tablica 12. Prikaz nepodobnih dijelova prototipne konstrukcije

Pozicija	Način oštećenja	LC	Komentar
Oplata palube 5	PCSF = -0,79	3/4	Izvijanje ukrepa
Oplata dna	PCSF = -0,042	1	Izvijanje oplata između ukrepa
Oplata palube 5	PCCB = -0,582	2	Bi-aksijalno izvijanje oplata
Rebrenica	PCCB = -0,292	3/4	Bi-aksijalno izvijanje oplata
Uzdužnjaci palube 5	PCSB = -0,399	2	Izvijanje ukrepa
Oplata dna	PFLB = -0,145	1	Lokalno izvijanje oplata
Oplata palube 5	PFLB = -0,368	2	Lokalno izvijanje oplata
Oplata palube 4	PFLB = -0,367	2	Lokalno izvijanje oplata
Rebro između paluba 3 i 4	FYCF	1	Popuštanje pojasa uslijed tlačnih naprezanja
Rebro između paluba 4 i 5	FYCF	3/4	Popuštanje pojasa uslijed tlačnih naprezanja

3.6. Prijedlog poboljšanja

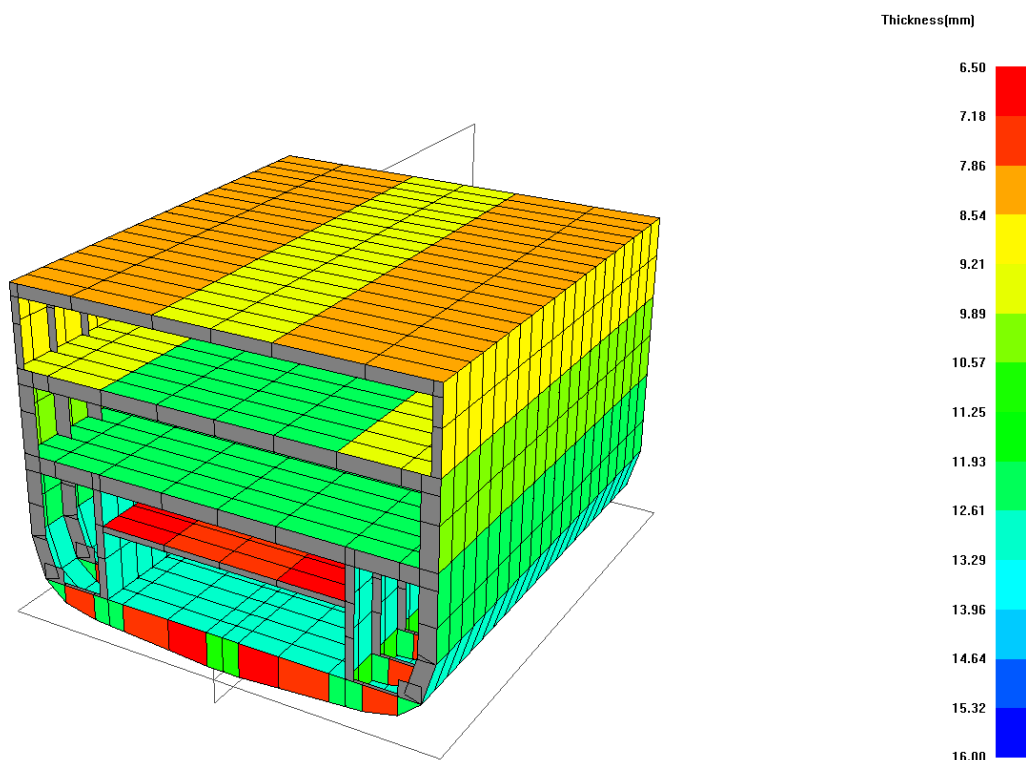
S obzirom na identificirane nepodobne dijelove konstrukcije prikazane u tablici 12, pristupilo se reprojektiranju, te je prijedlog poboljšanja dan u tablici 13.

Tablica 13. Prijedlog poboljšanja konstrukcije

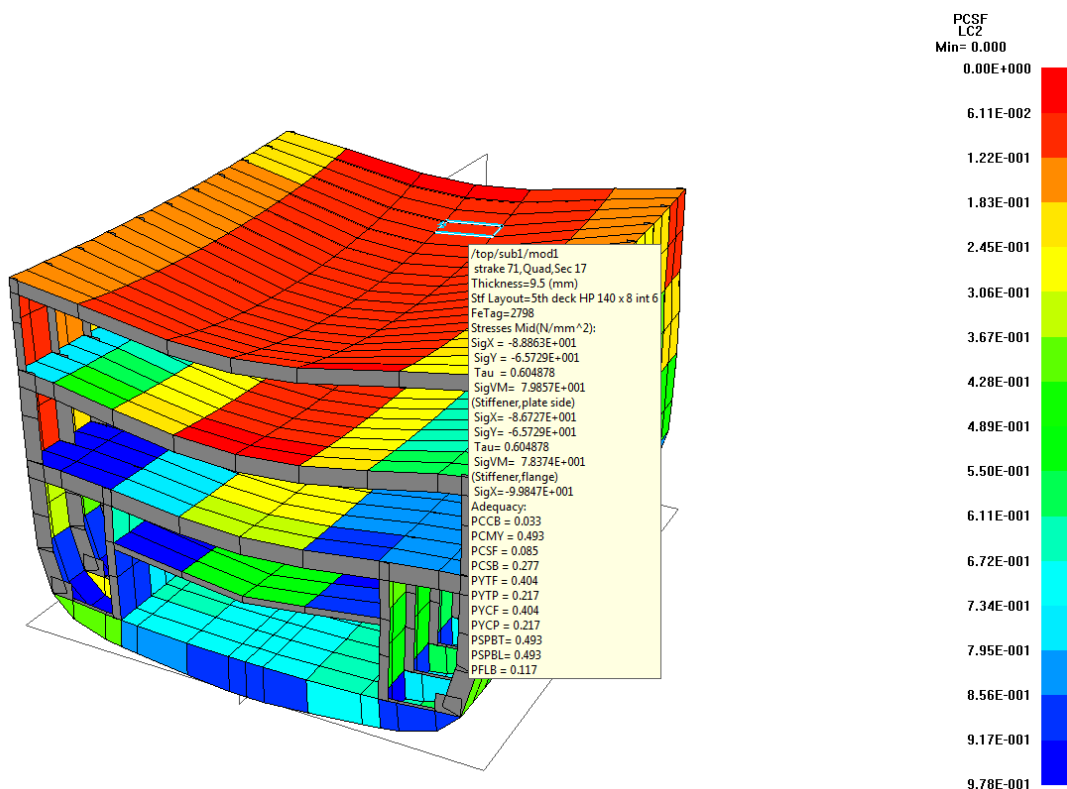
ELEMENT	MODEL PROTOTIPA	POBOLJŠANI MODEL
Rebrenica	t = 11 mm	t = 13mm
Oplata palube 2 (2 voja)	t = 6,5 mm	t = 7,5 mm
Oplata palube 4 (4 voja)	t = 9,5 mm	t = 12,5 mm
Oplata palube 5 (2 voja)	t = 7,5 mm	t = 8 mm
Oplata palube 5 (2 voja)	t = 7,5 mm	t = 9,5 mm
Oplata boka (Voj E i F)	t = 8 mm	t = 9 mm
Oplata pregrade	t = 11 mm	t = 13 mm
Uzdužnjaci palube 5	HP 80x7	HP 140x8
Rebro između paluba 3 i 4	T 600x8/130x12	T 1200x10/500x30
Rebro između paluba 4 i 5	T 270x8/100x12	T 600x10/300x20

Uz navedene promjene, zbog izvijanja oplata palube 5, između palubnih podveza od simetrale broda do 5400mm od simetrale, postavljeni su interkostalne ukrepe (FB 100x10) između okvirnih sponja.

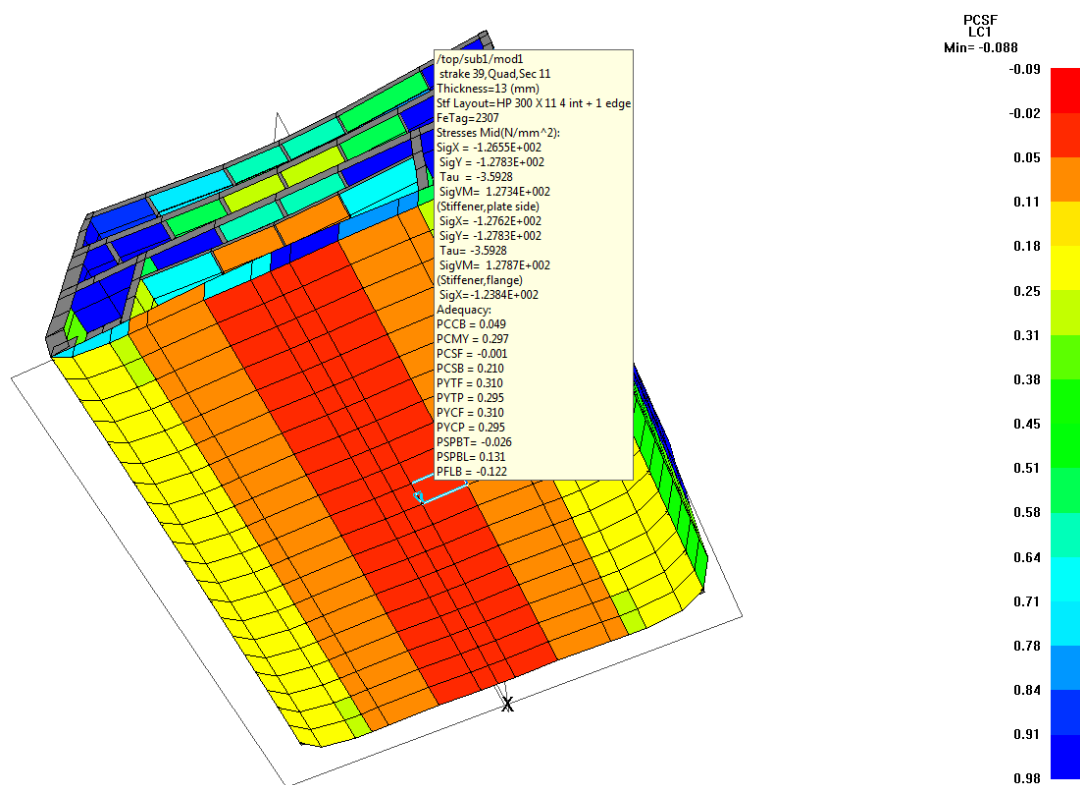
Slika 28 prikazuje debljine oplata poboljšanog modela, dok Slike 29-35 prikazuju postignute faktore podobnosti poboljšane strukture za različite kriterije.



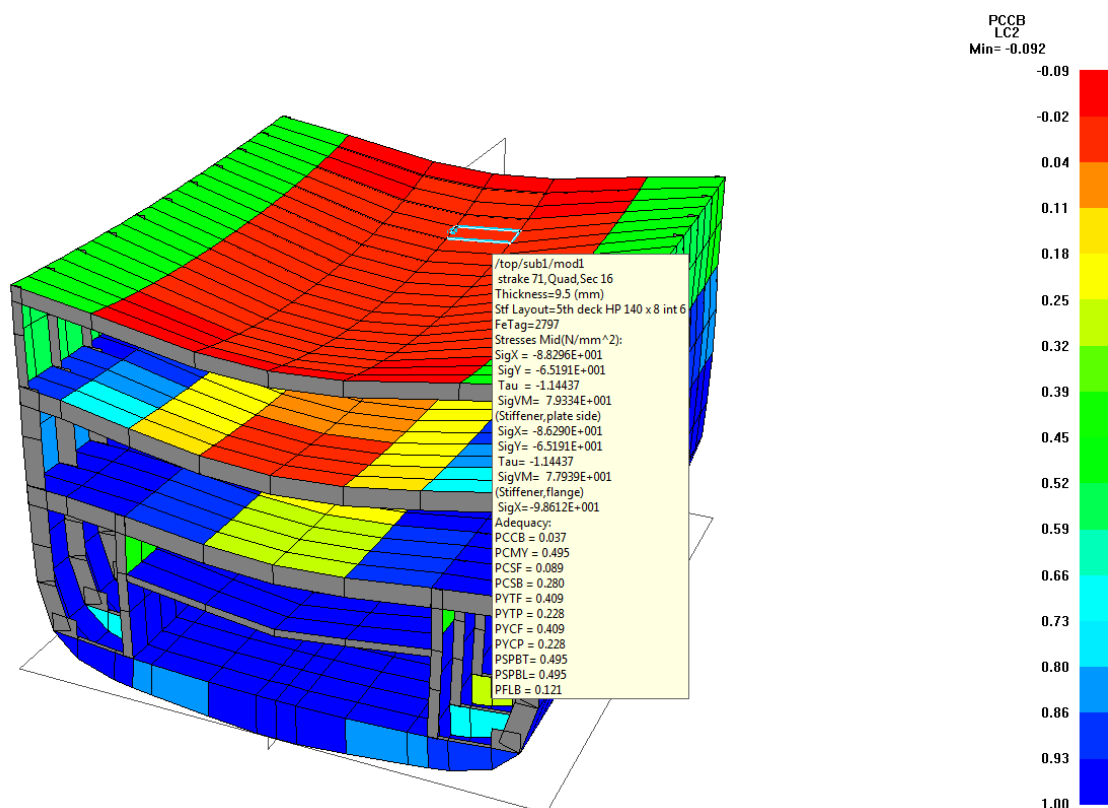
Slika 28. Debljine oplata poboljšanog modela



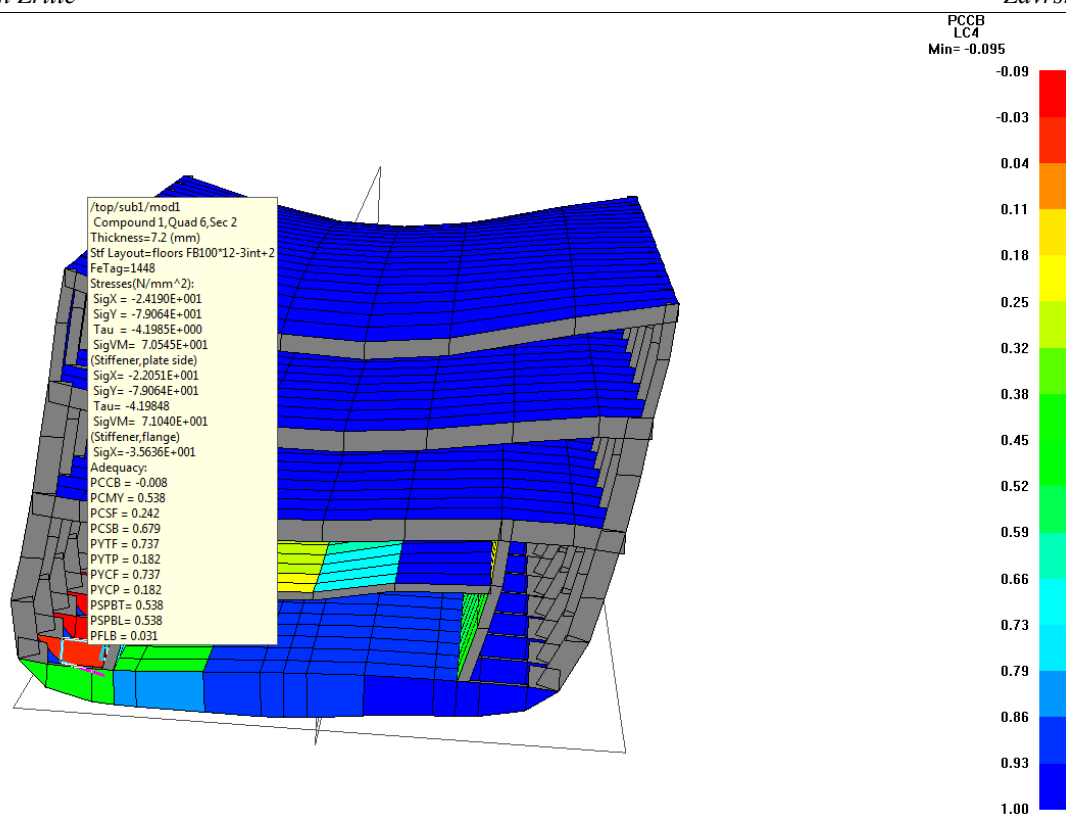
Slika 29. Postignuti faktor podobnosti oplata palube 5 u LC2 za kriterij PCSF



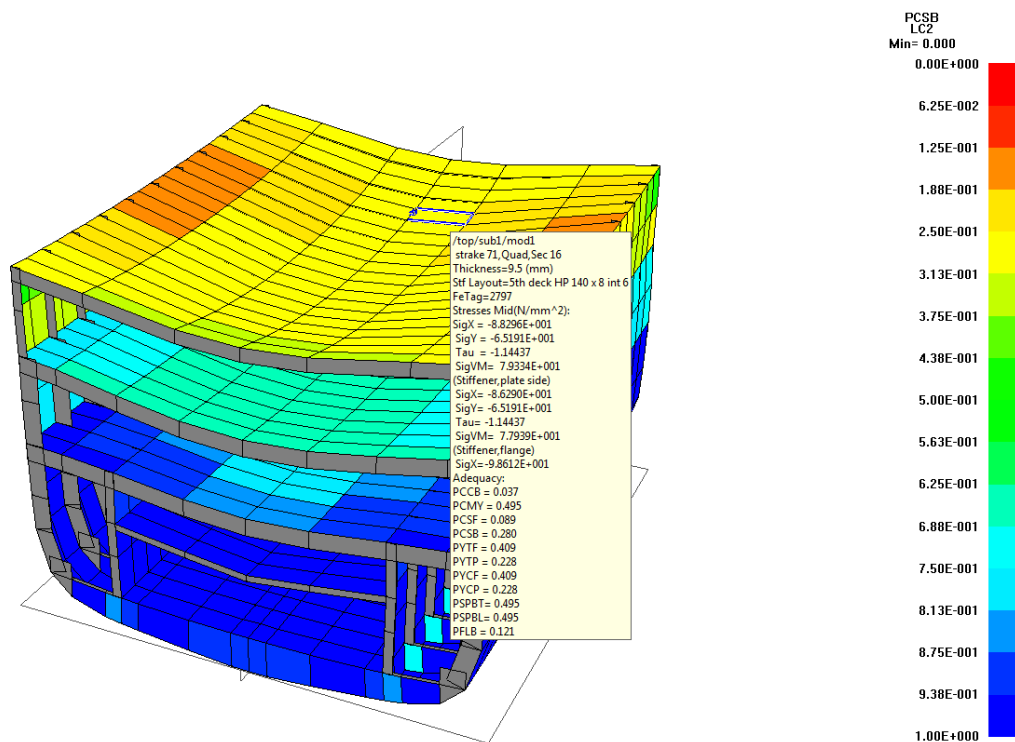
Slika 30. Postignuti faktor podobnosti oplata dna u LC1 za kriterij PCSF



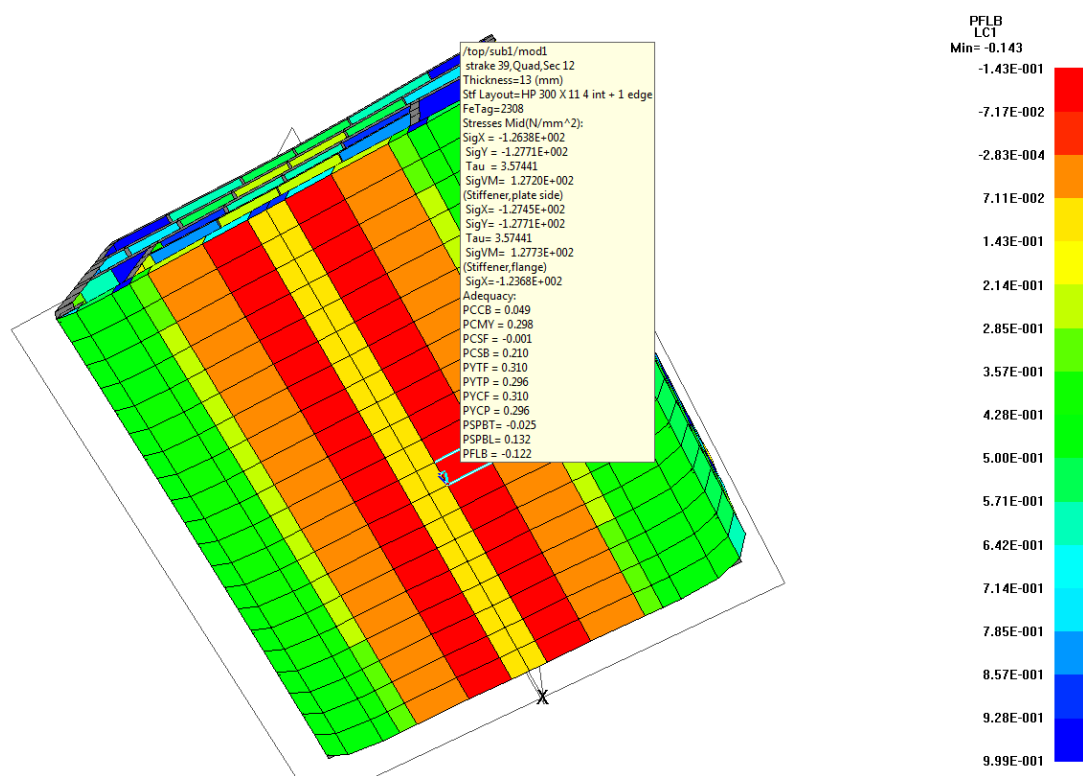
Slika 31. Postignuti faktor podobnosti oplata palube 5 u LC2 za kriterij PCCB



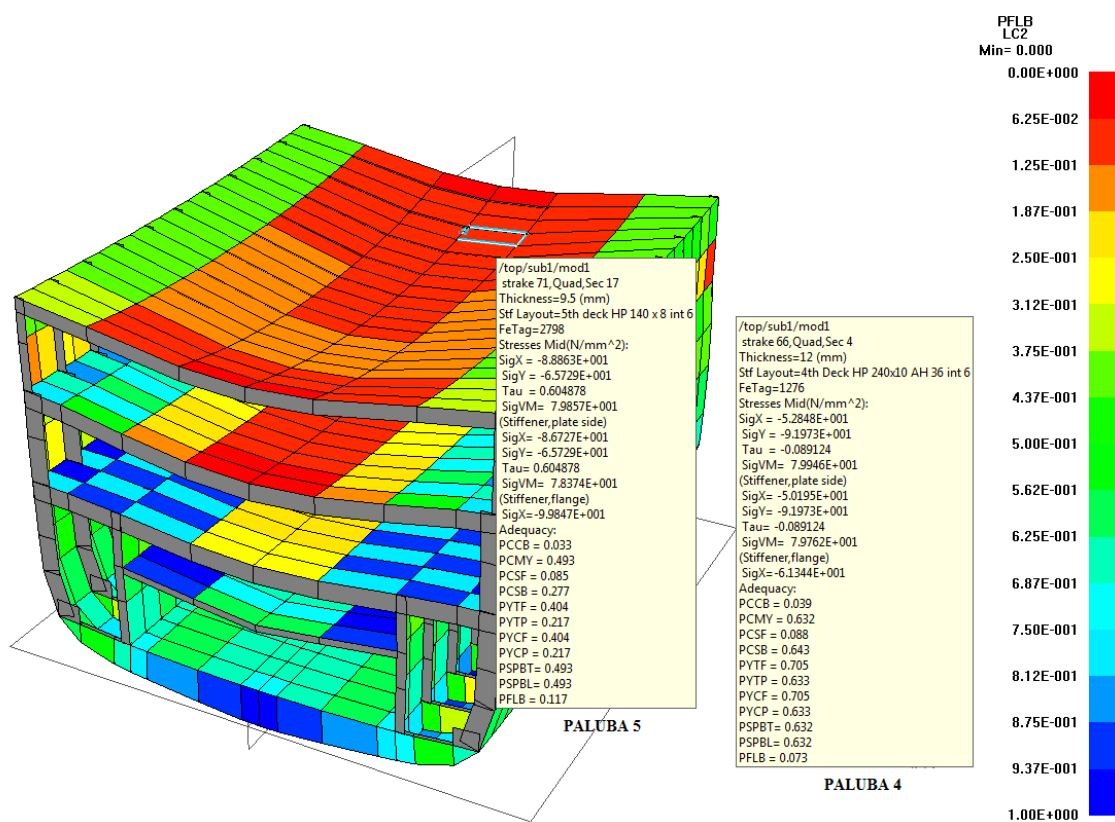
Slika 32. Postignuti faktor podobnosti rebrnice u LC4 sa kriterijem PCSB



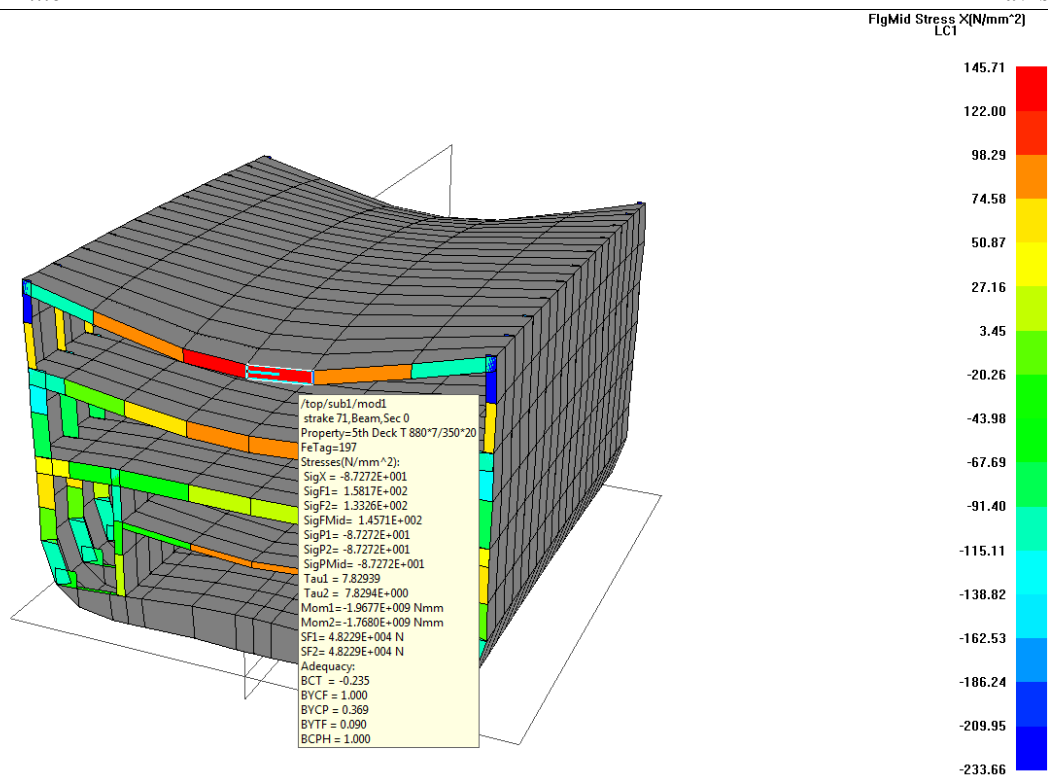
Slika 33. Postignuti faktor podobnosti oplate palube5 u LC2 sa kriterijem PCSB



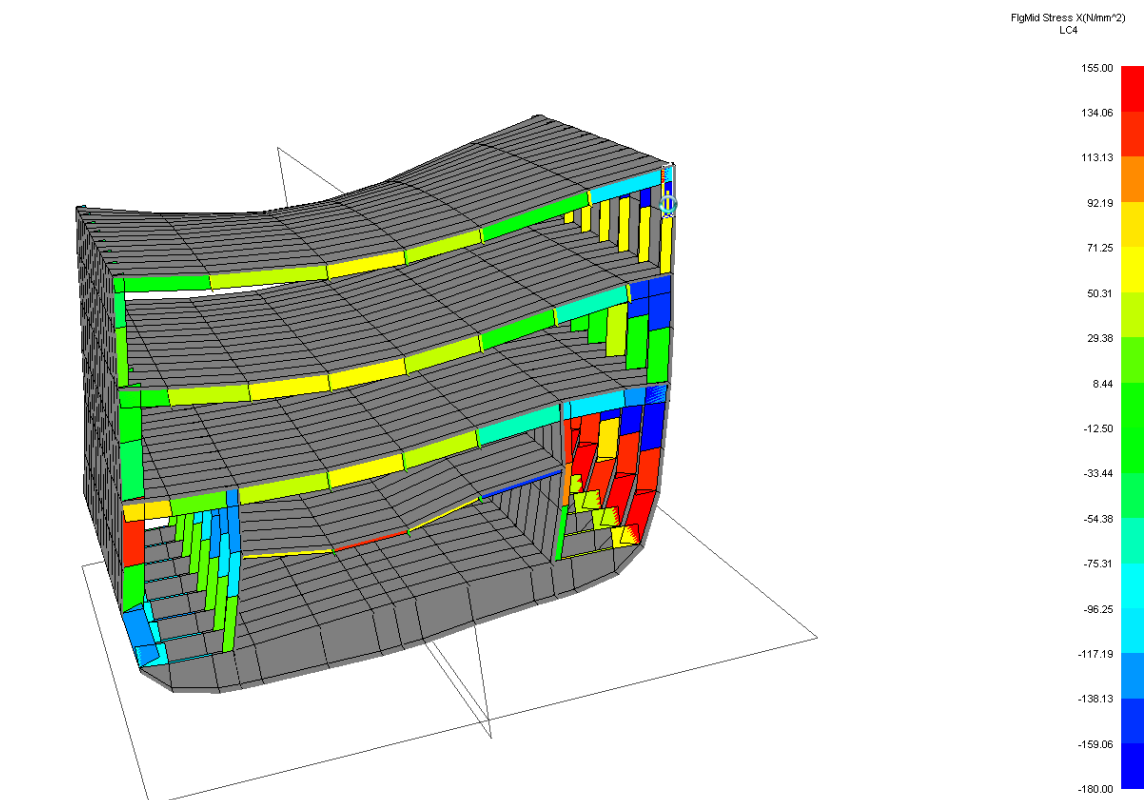
Slika 34. Postignuti faktor podobnosti oplata dna u LC1 za kriterij PFLB



Slika 35. Postignuti faktor podobnosti oplata palube 4 i 5 za kriterij PFLB

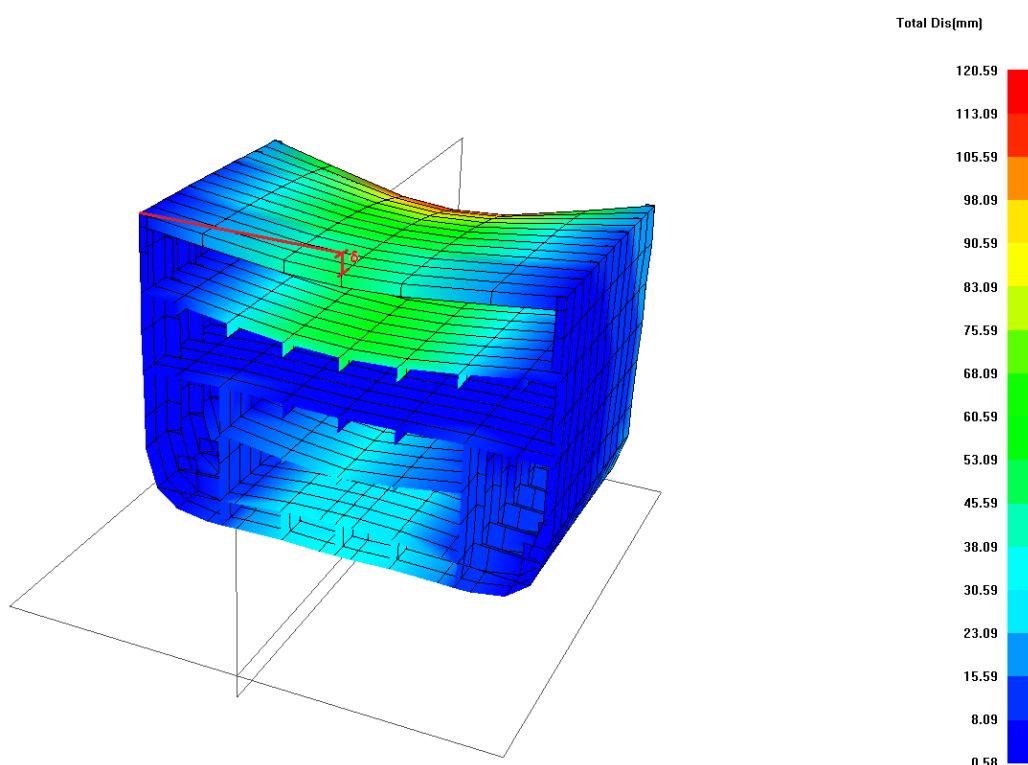


Slika 36. Najveća naprezanja na okviru u LC1

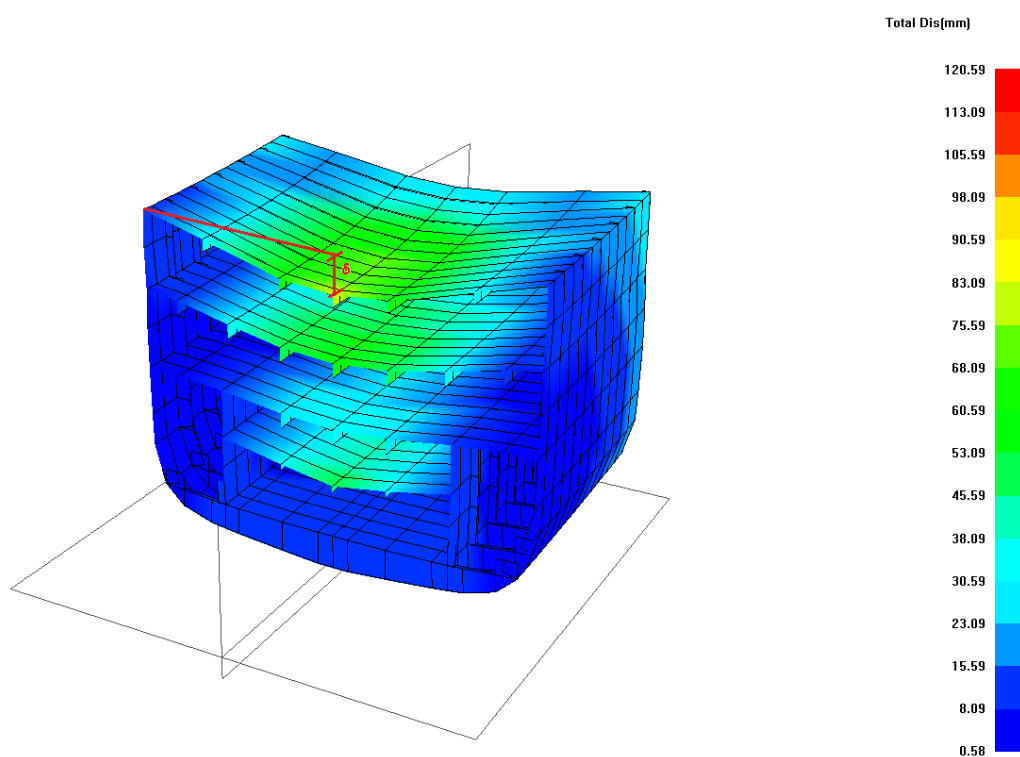


Slika 37. Najveća naprezanja na okviru u LC3/LC4

Na slici 38 i 39 prikazani su progibi u LC1 i LC2 poboljšane konstrukcije. Tablica 14 prikazuje progibe svih paluba ovisno o opterećenju, dok tablica 15 prikazuje svjetlu visinu po palubama.



Slika 38. Progibi u LC1 poboljšane konstrukcije



Slika 39. Progibi u LC2 poboljšane konstrukcije

Tablica 14. Progibi po palubama – poboljšana konstrukcija

	Progib LC1	Progib LC2	Progib LC3/LC4
PALUBA 1	31 mm	- 13 mm	4 mm
PALUBA 2	- 31 mm	- 45 mm	- 28 mm
PALUBA 3	- 1 mm	- 31 mm	- 13 mm
PALUBA 4	- 54 mm	- 55 mm	- 35 mm
PALUBA 5	- 41 mm	- 43 mm	- 35 mm

Tablica 15. Svijetle visine – poboljšana konstrukcija

	PALUBA 1	PALUBA 2	PALUBA 3	PALUBA 4
Zahtijevana svijetla visina	4,7 m	2,3 m	4,7 m	4,7 m
Visina skladišta	5,37 m	3,63 m	5,9 m	5,7 m
Visina struka sponje	0,44 m	1,15 m	1,07 m	0,88 m
Debljina prirubnice sponje	0,02 m	0,045 m	0,045 m	0,02 m
Debljina izolacije	0,05 m	0,05 m	0,05 m	0,05 m
Najveći progib	0,031 m	0,045 m	0,031 m	0,043 m
Svijetla visina	4,829 m	2,34 m	4,704 m	4,707
Zadovoljava	DA	DA	DA	DA

4. Zaključak

Proces projektiranja konstrukcije RO-PAX broda proveden je kroz dvije faze:

- proračun strukturnih dimenzija po Pravilima DNV, generiranje prototipa
- proračun konstrukcije MKE modelom, generiranje finalnog rješenja

U prvoj je fazi, nakon kompletiranja proračuna po Pravilima DNV, analizom senzitivnosti određen razmak okvira koji će odgovarati konstrukciji najmanje mase. Za tu je konstrukciju izrađen parcijalni 3D MKE model, te se u drugoj fazi proveo proračun MKE metodom.

Analizom MKE rezultata utvrđeni su nepodobni dijelovi strukture prototipnog modela, projektiranog po Pravilima, te su isti redimenzionirani.

U odnosu na prototipni model, zamijenjene su rebrenice zbog bi-aksijalnog izvijanja kod nesimetričnog opterećenja, oplata lima na sredini palube 2, 4 i 5 uslijed izvijanja uzrokovanog tlačnim poprečnim naprezanjima zbog savijanja sponje, te uzdužnjaci palube 5 zbog izvijanja. Povećanjem dimenzija rebara koja pružaju oslonce palubnim sponjama između paluba 3 i 4, te paluba 4 i 5, riješio se problem prevelikih progiba bez mijenjanja dimenzija sponja, te je ostvarena zahtijevana svijetla visina.

Kod dimenzioniranja oplata i uzdužnjaka palube, u obzir se uzimalo opterećenje kotačima, no oplata se morala redimenzionirati zbog izvijanja uslijed povišenih tlačnih poprečnih naprezanja. Efikasnije rješenje od dodatnog povećavanja dimenzija oplata palube, bilo je postavljanje interkostalnih ukrepa protiv izvijanja između palubnih podveza.

Ova je analiza pokazala kako je uz primarni proračun po Pravilima, potrebno provesti i proračun konstrukcije MKE modelom, kako bi se identificirali nepodobni dijelovi konstrukcije, te se isti redimenzionirali.

5. Literatura

- [1] ...,Lamb T., Kanerva M., Ship Design and Construction, Vol II. CH.35 SNAME“, 2004
- [2] ..., Det Norske Veritas: „Rules for Classification of Ships, Newbuildings: Hull Structural Design – Ships with Length 100 Meters and Above“, July 2011.
- [3] ...,Uljanik, EU FP6 project IMPROVE, RoPax project, Tehnička dokumentacija“ 2008.
- [4] ...,Det Norske Veritas: „Passenger and Dry Cargo Ships“, July 2011
- [5] ... MAESTRO Version 8.9.3: „Program documentation“, Proteus Engineering, Stevensville, MD, USA
- [6] ..., Det Norske Veritas: „Strength Analysis of Hull Structures in Roll on/ Roll off Ships, Ferry and Car Carriers“, Classification Notes No. 31.2, April 2011.

6. Prilog

Prilog A - Proračun u MS Excel-u

1. Osnovne dimenzije

Duljina preko svega	L_{OA}	193	m
Proračunska duljina	L_{SCANT}	180,53	m
Širina	B	29,8	m
Gaz	T	7,5	m
Brzina	V	24,5	čv
Blok koeficijent	C_B	0,6	
Razmak uzdužnjaka	s	0,6	m
Razmak okvira	w	3,2	m

2. Momenti savijanja i poprečne sile

2.1 Momenti savijanja na mirnoj vodi (B 106, str. 68)

$$M_{SO} = -0,65 C_{WU} L^2 B (C_B + 0,7) \quad [\text{kNm}] \quad \text{sagg}$$

$$M_{SO} = C_{WU} L^2 B (0,1225 - 0,015 C_B) \quad [\text{kNm}] \quad \text{hogg}$$

$$C_{WU} = C_W \quad \text{unrestricted service}$$

$$C_W = 10,75 - [(300 - L)/100]^{3/2} \quad \text{valni koeficijent za } 100 < L < 300 \text{ (B 201, str. 52)}$$

$$C_W = 9,444165$$

$$M_{S(s)} = k_{sm} M_{SO(s)} = -775060 \quad \text{kNm} \quad \text{sagg}$$

$$M_{S(h)} = k_{sm} M_{SO(h)} = 1041057 \quad \text{kNm} \quad \text{hogg}$$

$$k_{sm} = 1 \quad 1,0 \text{ within } 0,4 L \text{ amidship} \quad (\text{B 107, str. 68})$$

$M_{S(s)} = 0 \quad \text{kNm}$	sagg
$M_{S(h)} = 1200000 \quad \text{kNm}$	hogg

sličan brod

2.2 Poprečne sile na mirnoj vodi (B 108, str. 69)

$$Q_S = k_{sq} Q_{SO} \quad [\text{kN}]$$

$$Q_{SO} = 5 M_{SO} / L \quad [\text{kN}]$$

$$k_{sq} = 0,8 \quad \text{between } 0,4 L \text{ and } 0,6 L \text{ from A.P. (B 108, str. 69)}$$

$$Q_{SO(s)} = -21466,24 \quad \text{kN} \quad Q_{S(s)} = -17173 \quad \text{kN} \quad \text{sagg}$$

$$Q_{SO(h)} = 28833,348 \quad \text{kN} \quad Q_{S(h)} = 23066,7 \quad \text{kN} \quad \text{hogg}$$

2.3 Momenti savijanja na valovima (B 200, str. 69)

$$M_{WO} = -0,11 \alpha C_W L^2 B (C_B + 0,7) \quad [\text{kNm}] \quad \text{sagg}$$

$$M_{WO} = 0,19 \alpha C_W L^2 B C_B \quad [\text{kNm}] \quad \text{hogg}$$

$$\alpha = 1 \quad \text{for seagoing conditions (str. 69)}$$

$$M_{W(s)} = k_{wm} M_{WO(s)} = -1311640 \quad \text{kNm} \quad \text{sagg}$$

$$M_{W(h)} = k_{wm} M_{WO(h)} = 1045643 \quad \text{kNm} \quad \text{hogg}$$

$$k_{wm} = 1 \quad 1,0 \text{ between } 0,40 L \text{ and } 0,65 L \text{ from A.P. (B 202, str. 70)}$$

2.4 Poprečne sile na valovima (B 203, str. 70)

$$Q_{WP} = 0,3 \beta k_{wqp} C_W L B (C_B + 0,7) \quad [\text{kN}] \quad \text{pozitivna sila}$$

$$Q_{WP} = -0,3 \beta k_{wqn} C_W L B (C_B + 0,7) \quad [\text{kN}] \quad \text{negativna sila}$$

$$\beta = 1 \quad \text{for seagoing conditions (B 203, str. 70)}$$

$$k_{wqp} = 0,7 \quad \text{between } 0,4 L \text{ and } 0,6 L \text{ from A.P. (B 203, str. 71)}$$

$$k_{wqn} = 0,7 \quad \text{between } 0,4 L \text{ and } 0,6 L \text{ from A.P. (B 203, str. 71)}$$

$$Q_{WP} = 13870,49182 \quad \text{kN} \quad \text{pozitivna sila}$$

$$Q_{WN} = -13870,4918 \quad \text{kN} \quad \text{negativna sila}$$

2.5 Ukupni moment savijanja

$M_s =$	-1311640	kNm	sagg
$M_h =$	2245643	kNm	hogg

2.6 Ukupne poprečne sile

$Q_s =$	-1328813	kNm	sagg
$Q_h =$	2268709,7	kNm	hogg

3. Momenti otpora i inercije glavnog rebra

3.1 Minimalni zahtjevani moment otpora glavnog rebra (C 303, str. 74)

$$Z_O = (C_{WO} / f_1) L^2 B (C_B + 0,7) \quad [\text{cm}^3]$$

$$f_1 = [(3,9 + (t - 20) / 650) \sigma_f - 4,15 (t - 20) + 220] 10^{-3} \quad \text{faktor mater. (C 202, str. 21)}$$

$$t = 20 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura tereta}$$

$$\sigma_f = 235 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{vlačna čvrstoća}$$

$$f_1 = 1 \quad \text{faktor materijala}$$

$$Z_O = 11923999,47 \quad \text{cm}^3$$

3.2 Moment otpora glavnog rebra (C 304, str. 74)

$$Z_{O(s)} = (|M_{S(s)} + M_{W(s)}| / \sigma_l) 10^3 \quad [\text{cm}^3] \quad \text{sagg}$$

$$Z_{O(h)} = (|M_{S(h)} + M_{W(h)}| / \sigma_l) 10^3 \quad [\text{cm}^3] \quad \text{hogg}$$

$$\sigma_l = 125 f_1 \quad [\text{N/mm}^2] \quad \text{within } 0,4 L \text{ amidship}$$

$$\sigma_l = 125 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z_{O(s)} = 10493119,53 \quad \text{cm}^3 \quad \text{sagg}$$

$$Z_{O(h)} = 17965144,24 \quad \text{cm}^3 \quad \text{hogg}$$

$$Z_{\text{design}} > 17965144,24 \quad \text{cm}^3$$

3.3 Moment inercije glavnog rebra

$$I = 3 C_W L^3 B (C_B + 0,7) \quad [\text{cm}^4] \quad (\text{C 401, str. 76})$$

$$I = 6457918873 \quad \text{cm}^4$$

4. Struktura dvodna

4.1 Dimenzije plosne kobilice (C 200, str. 90)

$$b = 800 + 5 L \quad [\text{mm}] \quad \text{širina plosne kobilice (C 201, str. 90)}$$

$$b = 1702,65 \quad \text{mm}$$

$$b_{\text{kobilice}} = 1800 \quad \text{mm}$$

$$t = 7,0 + (0,05 L_1 / \sqrt{f_1}) + t_k \quad [\text{mm}] \quad \text{debljina plosne kobilice (C 202, str. 90)} \\ \text{(ne smije biti manja od debljine dna)}$$

$$L_1 = L = 180,53 \quad \text{m}$$

$$t_k = 0 \quad \text{mm} \quad \text{dodatak za koroziju (Tablica D1, str. 23)}$$

$$t = 16,0265 \quad \text{mm}$$

$$t_{\text{kobilice}} = 16 \quad \text{mm}$$

4.2 Oplata dna i uzvoja (C 300, str. 90)

$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k$ [mm] debljina oplata dna ovisno o tlaku (C 302, str.90)

$k_a = (1,1 - 0,25 s / l)^2$ korekcijski faktor (A 201, str. 101)

$s =$ 0,6 m razmak uzdužnjaka dna

$l =$ 3,2 m raspon uzdužnjaka (C 100, str. 35)

$k_a =$ 1,109072266

$k_a =$ maximum 1,0 for $s / l = 0,4$
minimum 0,72 for $s / l = 1,0$

$k_a =$ 1 usvojena veličina

$p = p_1$ sea pressure (tablica B1, str. 89)

$p_1 = 10 T + p_{dp}$ [kN/m²]

$p_{dp} = p_l + 135 y / (B + 75) - 1,2 (T - z)$ [kN/m²] dinamički tlak (C 201, str. 56)

$p_l = k_s C_W + k_f =$ 26,38833

$p_l = (k_s C_W + k_f) (0,8 + 0,15 V / \sqrt{L}) =$ 28,3283 if $(V / \sqrt{L}) > 1,5$

$V / \sqrt{L} =$ 1,823439646

$k_s =$ 2 between 0,2 L and 0,7 L from A.P.

$k_f =$ 7,5 (T)

$p_l =$ 28,32829313

$y =$ 7,45 horizont. udaljenost od CL do točke opterećenja, min. B/4 (m)

$z =$ 0 vertik. udaljenost od osnovice do točke optereć., max. T (m)

$p_{dp} =$ 28,92514427 kN/m² dinamički tlak

$p_1 =$ 103,9251443 kN/m² ukupni tlak na opločenje dna

$\sigma = 120 f_1$ [N/mm²] dozvoljeno naprezanje za uzdužno ukrepljenje

$\sigma =$ 100 N/mm²

$t_k =$ 1 mm dodatak za koroziju (Tablica D1, str. 23)

$t =$ 10,664261 mm

$t =$ 11 mm

$t_{\min} = 5,0 + (0,04 L_1 / \sqrt{f_1}) + t_k$ [mm] minimalna debljina dna (C 304, str. 91)

$t_{\min} =$ 13,2212

$t_{\min} =$ 13

$t_{\text{dna}} =$ 13 mm

$t_{\text{uzvoja}} =$ $t_{\text{dna}} =$ 13 mm usvojena debljina uzvoja (C 306, str. 91)

4.3 Oplata pokrova dvodna (1st DECK) (C 400, str. 91)

a) Wheel load

Najmanja debljina lima opterećenog kotačima

(DNV - Special service and type - additional class; C 301, str. 46):

$$t = (77,4 k_a \sqrt{(k_w c s p)}) / \sqrt{(m \sigma)} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$p = (Q / (n_o a b)) * (9,81 + 0,5 a_v) \quad [\text{kN/m}^2]$$

$Q = 15$ t maksimalno osnovno opterećenje u tonar (plovidba)

$Q = 21$ t maksimalno osnovno opterećenje u tonar (u luci)

$n_o = 4$ broj opterećenih površina po osovini

$a = 0,227$ m duljina opterećene površine paralelno s uzdužnjacima

$b = 0,22$ m duljina opterećene površine okomito na uzdužnjake

a_v - vertikalna akceleracija za natovarena vozila, uvjeti na moru (B 602, str. 55)

$$a_v = \max [\sqrt{(a_{tz}^2 + a_{z}^2)}, \sqrt{(a_{pz}^2 + a_{z}^2)}] \quad [\text{m/s}^2]$$

$a_{tz} = \phi (2\pi / T_R)^2 R_R$ [m/s²] vertikalna komponenta akcel. (roll) (B 403, str.54)

$\phi = 50 c / (B + 75)$ [rad] kut ljuljanja (B 401, str. 54)

$$c = (1,25 - 0,025 T_R) k$$

$k = 1,2$ za brodove bez ljuljne kobilice

$T_R = 2 k_r / \sqrt{GM}$ [s] period ljuljanja (B 402, str. 54)

$k_r = 0,39 B$ [m] radijus ljuljanja

$k_r = 11,622$ m

$GM = 0,07 B$	[m]	metacentarska visina (općenita formula)
$GM =$	2,086	
$T_p = 1,8 \sqrt{(L / g_0)}$	[s]	period posrtanja (B 502, str. 54)
$T_p =$	7,7216959 s	
$R_p = z =$	8,025 m	udaljenost centra mase od osi rotacije
$a_p =$	1,1548585 m/s ²	
$T_R =$	16,093619 s	period ljuljanja
$c =$	1,0171914	
$\phi =$	0,4853013 rad	kut ljuljanja
$R_R = \min [(D/4 + T/2) , D/2]$	[m]	udaljenost osnovice od osi rotacije (B403, str. 54)
$D =$	17,1 m	visina od osnovice do palube čvrstoće
$D/4 + T/2 =$	8,025 m	
$D/2 =$	8,55 m	
$R_R = z =$	8,025 m	udaljenost osnovice od osi rotacije
$a_{rz} =$	0,593619 m/s ²	vertikalna komponenta akcel. (roll)
$a_z = 0,7 g_0 (a_0 / \sqrt{C_B})$	[m/s ²]	akceleracija poniranja
$g_0 =$	9,81 m/s ²	standardna akceleracija gravitacije
$a_0 = (3 C_W / L) + C_V C_{V1}$		parametar akceleracije
$C_V = \sqrt{L} / 50,$	maximum 0,2	
$C_V =$	0,2	
$C_{V1} = V / \sqrt{L},$	minimum 0,8	

$$C_{V1} = 1,823439646$$

$$a_0 = 0,521628577$$

$$a_z = 4,624372372 \quad \text{m/s}^2$$

$$a_{pz} = a_p = \theta (2\pi / T_p)^2 R_p \quad [\text{m/s}^2] \quad \text{vertikalna komponenta akceleracije posrtanja (B 503, str. 55)}$$

$$\theta = 0,25 (a_0 / C_B) \quad [\text{rad}] \quad \text{kut posrtanja (B 501, str. 54)}$$

$$\theta = 0,21734524 \quad \text{rad}$$

$$c = \begin{cases} b & \text{za } b < s \\ s & \text{za } b > s \end{cases}$$

$$c = 0,22$$

$$m = 38 / [(b/s)^2 - 4,7b / s + 6,5] \quad \text{za } b / s \leq 1$$

$$m = 13,57 \quad \text{za } b / s > 1$$

$$m = 7,737556561$$

$$a_{pz} = 1,154858548 \quad \text{m/s}^2$$

$$a_v = \max [\sqrt{(a_{rz}^2 + a_z^2)}, \sqrt{(a_{pz}^2 + a_z^2)}] \quad [\text{m/s}^2]$$

$$\sqrt{(a_{rz}^2 + a_z^2)} = 4,6623174 \quad \text{m/s}^2$$

$$\sqrt{(a_{pz}^2 + a_z^2)} = 4,7663947 \quad \text{m/s}^2$$

$$a_v = (k_v g_0 a_0) / C_B \quad \text{vertikalna akceleracija prema C 601, str. 55}$$

$$k_v = 0,7 \quad \text{izmedju 0,3 L i 0,6 L od A.P.}$$

$$a_v = 5,970039061 \quad \text{m/s}^2$$

$$a_v = 5,970039061 \quad \text{m/s}^2 \quad \text{usvojena vertikalna akceleracija}$$

$$p = 960,7794 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{tlak u slučaju } Q = 15 \text{ t, } a_v = 5,97) - \text{uvjeti na moru}$$

$$p = 1100,1088 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{tlak u slučaju } Q = 21 \text{ t, } a_v = 0) - \text{uvjeti u luci}$$

$$p = 1100,1088 \text{ kN/m}^2 \quad \text{usvojeni tlak}$$

$$t_k = 1 \text{ mm} \quad \text{dodatak za koroziju (Table D1, str. 23)}$$

$$\sigma = 320 f_1 \text{ [N/mm}^2] \quad \text{maksimalni iznos (općenito) za uvjete na moru}$$

$$\sigma = 320 \text{ N/mm}^2$$

$$k_w = 1,3 - 4,2 / (a / s + 1,8)^2$$

$$k_w = 0,4148831$$

b) Uniform load - cargo tweendecks (Table B1 Design loads, str. 120)

$$p = \rho_c (g_0 + 0,5 a_v) H_C \text{ [kN/m}^2]$$

$$\rho_c = 1 \text{ t/m}^3 \quad \text{dry cargo density (Table C1, str. 64)}$$

$$H_C = 4 \text{ m} \quad \text{stowage height}$$

$$p = 51,180078 \text{ kN/m}^2$$

c) Deck as tank top (Table B1 Design loads, str. 121)

$$p_1 = 0,67 (\rho g_0 h_p + \Delta p_{\text{dyn}})$$

$$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3 \quad \text{density of ballast}$$

$$h_p = 3,26 \text{ m} \quad \text{load point to air pipe}$$

$$\Delta p_{\text{dyn}} = 25 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Pt. 3 Ch. 2 Sec 5 B100, str. 43})$$

$$p_1 = 38,712677 \text{ kN/m}^2$$

Debljina pokrova dvodna (1st Deck)

$$p = 1100,108766 \text{ kN/m}^2$$

$$t = 13,07345928$$

$$t_{1st \text{ DECK}} = 13 \text{ mm}$$

4.4 Uzdužnjaci dna

Opterećenje uzdužnjaka dna jednako je opterećenju oplata dna (C 200, str. 56)

$$p = 103,92514 \text{ kN/m}^2$$

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3] \quad \text{Zahtjevani moment otpora uzduž. (C 701, str. 93)}$$

$$s = 0,6 \text{ m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$l = 3,2 \text{ m} \quad \text{raspon uzdužnjaka}$$

$$w_k = 1 + 0,05 (t_{kw} + t_{kf}) \quad \text{faktor korozije, flanged section (C1004, str. 48)}$$

$$w_k = 1 + 0,06 t_{kw} \quad \text{faktor korozije, bulbs}$$

$$t_{kw} = 0 \quad \text{dodatak za koroziju (Table D1, str. 23)}$$

$$t_{kf} = 0 \quad \text{dodatak za koroziju (Table D1, str. 23)}$$

$$w_k = 1$$

$$\sigma = 160 f_1 \quad [\text{N/mm}^2] \quad \text{maksimalno dopušteno opterećenje}$$

$$\sigma = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$Z = 529,96835 \text{ cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 280 x 11	$Z_x = 566$	cm^3
		$A = 42,6$	cm^2
		$m = 33,5$	kg/m

4.5 Uzdužnjaci pokrova dvodna

$$Z = (1000 k_z l c d p w_k) / m \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

$$k_z = 1 \quad \text{za } b/s < 0,6 \text{ i } b/s > 3,4$$

$$k_z = (1,15 - 0,25 b/s) = 1,05833 \quad \text{za } 0,6 < b/s < 1,0$$

$$k_z = (81,15 - 0,25 b/s) b/s = 0,38806 \quad \text{za } 1,0 < b/s < 3,4$$

$$b/s = 0,366666667$$

$$k_z = 1$$

$$c = 0,22 \quad \text{jednako kao i kod pokrova dvodna}$$

$$d = \begin{cases} a & \text{za } a < l \\ l & \text{za } a > l \end{cases}$$

$$d = 0,227$$

$$p = 1100,108766 \text{ kN/m}^2 \quad \text{jednako kao i kod pokrova dvodna}$$

$$m = \begin{cases} r / [(a/l)^2 - 4,7 a/l + 10,9] & \text{za } a/l < 1 \\ 87 / \{ (a/l)^2 [(a/l)^2 - 6,3 a/l + 10,9] \} & \text{za } 1,2 < a/l < 2,5 \\ 12 & \text{za } a/l > 3,5 \end{cases}$$

$$m = 4,698923844$$

$$r = 29 \quad \text{faktor ovisan o krutosti nosača}$$

$$\sigma = 160 f_1 \quad [\text{N/mm}^2] \quad \text{maksimalno naprezanje za uvjete na moru}$$

$$\sigma = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$Z = 374,1413726 \text{ cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 240 x 11	$Z_x = 390$	cm^3
		$A = 34,89$	cm^2
		$m = 27,39$	kg/m

4.6 Rebrenica (C 500, str. 92)

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k \quad [\text{mm}] \quad \text{debljina rebrenice}$$

$$k_a = 1 \quad \text{korekcijski faktor}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 75 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{tlak}$$

$$t_k = 1,5 \quad \text{mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$\sigma = 100 \quad \text{N/mm}^2$$

$$t = 9,7099208$$

Minimalna debljina:

$$t = 6 + k / \sqrt{f_1} + t_k$$

$$k = 0,02 L$$

$$k = 3,6106$$

$$t = 11,1106$$

$$t_{\text{rebrenice}} = 11 \quad \text{mm}$$

4.6.1 Ukrepe rebrenica - postavljaju se između svakog para uzdužnjaka (C 900, str. 94)

$$Z = (100 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3] \quad \text{minimalni moment otpora ukrepe}$$

$$l = 2,06 \quad \text{m} \quad \text{raspon ukrepe}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 75 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{tlak}$$

$$w_k = 1 \quad \text{faktor korozije}$$

$$\sigma = 100 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 190,962 \quad \text{cm}^3$$

odabrana ukrepa:	FB 100 x 12	$Z_x = 200$	cm^3
		$A = 120$	cm^2
		$m = 94,2$	kg/m

4.6.2 Provlake rebrenica

Visina provlake ne smije prijeći polovinu visine nosača

$$h = 2500 \quad \text{mm}$$

$$\text{Dimenzije provlake:} \quad 1000 \times 400$$

4.7 Hrptenica (C 502, str. 92)

$h = 2,5 \text{ m}$ visina hrptenice (dvodna)

$t = 6 + (k / \sqrt{f_1}) + t_k \text{ [mm]}$ debljina struka hrptenice

$k = 0,04 L = 7,2212$

$t_k = 1,5 \text{ mm}$ dodatak za koroziju

$t = 14,7212$

$t = 14,5 \text{ mm}$ debljina struka hrptenice

4.7.1 Ukrepe hrptenice (C 900, str. 94)

$Z = (100 l^2 s p w_k) / \sigma \text{ [cm}^2\text{]}$ minimalni moment otpora ukrepe

$l = 3,2 \text{ m}$ raspon ukrepe

$s = 0,625 \text{ m}$ razmak uzdužnjaka

$p = 75 \text{ kN/m}^2$ tlak

$w_k = 1$ faktor korozije

$\sigma = 100 \text{ N/mm}^2$

$Z = 480 \text{ cm}^3$

odabrana ukrepa:	HP 260 x 12	$Z_x = 493 \text{ cm}^3$
		$A = 41,3 \text{ cm}^2$
		$m = 32,4 \text{ kg/m}$

4.8 Jaki uzdužni nosači (C 502, str. 92)

Postavljaju se po dva nosača na svakoj strani. Razmak među njima ne smije prelaziti 5 m (D 300, str. 96)

$$t = 6 + (k / \sqrt{f_l}) + t_k \quad [\text{mm}] \quad \text{debljina nosača}$$

$$k = 0,02 L = 3,6106$$

$$t_k = 1,5 \quad \text{mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$t = 11,1106$$

$$t = 11 \quad \text{mm} \quad \text{debljina jakih uzdužnih nosača}$$

4.8.1 Ukrepe jakih uzdužnih nosača (C 900, str. 94)

a) Nosač br. 1

$$Z = (100 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^2] \quad \text{minimalni moment otpora ukrepe}$$

$$l = 3,2 \quad \text{m} \quad \text{raspon ukrepe}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 75 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{tlak}$$

$$w_k = 1 \quad \text{faktor korozije}$$

$$\sigma = 100 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 460,8 \quad \text{cm}^3$$

odabrana ukrepa:	HP 260 x 11	$Z_x = 474$	cm^3
		$A = 38,7$	cm^2
		$m = 30,3$	kg/m

b) Nosač br. 2

$s = 0,5 \text{ m}$ (sve otalo je isto kao i kod nosača br. 1)

$p = 75$

$Z = 384 \text{ cm}^3$

odabrana ukrepa:	HP 240 x 11	$Z_x = 390$	cm^3
		$A = 34,89$	cm^2
		$m = 27,39$	kg/m

5. Palube

5.1 2nd DECK - debljina oplate

a) Wheel load

$$p = (Q / (n_o a b)) * (9,81 + 0,5 a_v) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{DNV - Special service and type} \\ - \text{adittional class; C 201, str. 44})$$

$$Q = 2 \quad \text{t} \quad \text{maksimalno osnovisko opterećenje u tonar (plovidba)}$$

$$n_o = 2 \quad \text{broj opterećenih površina po osovini}$$

$$a = 0,14 \quad \text{m} \quad \text{duljina opterećene površine paralelno s uzdužnjacima}$$

$$b = 0,158 \quad \text{m} \quad \text{duljina opterećene površine okomito na uzdužnjake}$$

$$a_v = 5,970039061 \quad \text{m/s}^2$$

$$p = 578,4366876 \quad \text{kN/m}^2$$

b) Uniform load - cargo tweendecks (Table B1 Design loads, str. 120)

$$p = \rho_c (g_0 + 0,5 a_v) H_C \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$\rho_c = 1 \quad \text{t/m}^3 \quad \text{dry cargo density (Table C1, str. 64)}$$

$$H_C = 0,3 \quad \text{m} \quad \text{stowage height}$$

$$p = 3,838505859 \quad \text{kN/m}^2$$

$$t = (77,4 k_a \sqrt{(k_w c s p)}) / \sqrt{(m \sigma)} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$t_k = 0 \quad \text{mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$p = 578,4366876 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma = 320 \quad \text{N/mm}^2$$

$$k_a = 1$$

$$k_w = 0,284144$$

$$c = 0,158$$

$$s = 0,6 \quad \text{m}$$

$$m = 7,1272124$$

$$t = 6,3974586$$

$$t_{2\text{nd DECK}} = 6,5 \quad \text{mm}$$

5.1.1 2nd DECK - uzdužnjaci

$$Z = (1000 k_z l c d p w_k) / m \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

$$p = 578,43669 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma = 120 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 47,874354 \quad \text{cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 120 x 6	$Z_x = 54$	cm^3
		$A = 9,32$	cm^2
		$m = 7,32$	kg/m

5.1.2 2nd DECK - sponja

$$Z = (0,63 l^2 s p w_k) / f_1 \quad [\text{cm}^3] \quad \text{minimalni moment otpora sponje (C 400, str. 123)}$$

$$l = 17,76 \quad \text{m} \quad \text{raspon sponje}$$

$$s = 3,2 \quad \text{m} \quad \text{razmak sponja}$$

$$p = 3,838505859 \quad \text{kN/m}^2$$

$$Z = 2440,836328 \quad \text{cm}^3$$

profil sponje:	T 440 x 10 / 230 x 20	$Z_x = 2548,02 \quad \text{cm}^3$
		$A = 90 \quad \text{cm}^2$

5.1.3 2nd DECK - podveze (odabiru se prema sponji)

profil podveze:	T 440 x 10 / 150 x 20	$Z_x = 1894,52 \quad \text{cm}^3$
		$A = 74 \quad \text{cm}^2$

5.2 3rd DECK - debljina oplata

a) Wheel load

$$p = 1100,1088 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{kao i 1st DECK})$$

b) Uniform load - cargo tweendecks (Table B1 Design loads, str. 120)

$$p = \rho_c (g_0 + 0,5 a_v) H_C \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$\rho_c = 1 \text{ t/m}^3 \quad \text{dry cargo density (Table C1, str. 64)}$$

$$H_C = 3 \text{ m} \quad \text{stowage height}$$

$$p = 38,385059 \text{ kN/m}^2$$

$$t_k = 0 \text{ mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$p = 1100,1088 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = 320 \text{ N/mm}^2$$

$$t = 12,073459$$

$$t_{3\text{rd DECK}} = 12 \text{ mm}$$

5.2.1 3rd DECK - uzdužnjaci

Zahtjevani moment otpora uzdužnjaka palube opterećene kotačima:
(DNV - Special service and type - additional class; C 401, str. 47):

$$Z = (1000 k_z l c d p w_k) / m \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

$$p = 1100,1088 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = 120 \text{ N/mm}^2$$

$$Z = 311,78448 \text{ cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 220 x 11,5	$Z_x = 323$	cm^3
		$A = 32,3$	cm^2
		$m = 25,4$	kg/m

5.2.2 3rd DECK - sponja

$$Z = (0,63 l^2 s p w_k) / f_1 \quad [\text{cm}^3] \quad \text{minimalni moment otpora sponje (C 400, str. 123)}$$

$$l = 17,76 \quad \text{m} \quad \text{raspon sponje}$$

$$s = 3,2 \quad \text{m} \quad \text{razmak sponja}$$

$$p = 38,38505859 \quad \text{kN/m}^2$$

$$Z = 24408,36328 \quad \text{cm}^3$$

profil sponje:	T 1150 x 12 / 420 x 45	$Z_x = 25196,8 \quad \text{cm}^3$
		$A = 296,8 \quad \text{cm}^2$

5.2.3 3rd DECK - podveze (odabire se prema sponji)

profil podveze:	T 1150 x 12 / 150 x 45	$Z_x = 12071,8 \quad \text{cm}^3$
		$A = 205,5 \quad \text{cm}^2$

5.3 4th DECK - debljina oplata

a) Wheel load

$$p = 1100,1088 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{kao i 1st DECK})$$

b) Uniform load - cargo tweendecks (Table B1 Design loads, str. 120)

$$p = \rho_c (g_0 + 0,5 a_v) H_C \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$\rho_c = 1 \text{ t/m}^3 \quad \text{dry cargo density (Table C1, str. 64)}$$

$$H_C = 1,5 \text{ m} \quad \text{stowage height}$$

$$p = 19,192529 \text{ kN/m}^2$$

$$t_k = 0 \text{ mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$p = 1100,1088 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = 520 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Materijal AH36, } f_1 = 1,6$$

$$t = 9,4712007$$

$$t_{4\text{th DECK}} = 9,5 \text{ mm} \quad \text{AH36}$$

5.3.1 4th DECK - uzdužnjaci

$$Z = (1000 k_z l c d p w_k) / m \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

$$p = 1100,1088 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Materijal AH36, } f_1 = 1,6$$

$$Z = 233,83836 \text{ cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 200 x 10	$Z_x = 237 \text{ cm}^3$
		$A = 25,6 \text{ cm}^2$
		$m = 20,1 \text{ kg/m}$

5.3.2 4th DECK - sponja

$$Z = (0,63 l^2 s p w_k) / f_1 \quad [\text{cm}^3] \quad \text{minimalni moment otpora sponje (C 400, str. 123)}$$

$$l = 27,36 \quad \text{m} \quad \text{raspon sponje}$$

$$s = 3,2 \quad \text{m} \quad \text{razmak sponja}$$

$$p = 19,1925293 \quad \text{kN/m}^2$$

$$Z = 28963,75906 \quad \text{cm}^3$$

profil sponje:	T 1070 x 12 / 600 x 45	$Z_x = 31298,2 \quad \text{cm}^3$
		$A = 398,4 \quad \text{cm}^2$

5.3.3 4th DECK - podveze (odabire se prema sponji)

profil podveze:	T 1070 x 10 / 150 x 40	$Z_x = 9629,88 \quad \text{cm}^3$
		$A = 167 \quad \text{cm}^2$

5.4 5th DECK - Weather deck

a) Sea pressure (Table B1, str. 120)

$$p = a (p_{dp} - (4 + 0,2 k_s) h_0) \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$a = 0,8 \quad (\text{Table B1, str. 121})$$

$$p_{dp} = 28,925144 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{str. 5})$$

$$k_s = 2 \quad \text{between 0,2 L and 0,7 L from A.P.}$$

$$h_0 = 15,6 \text{ m} \quad \text{visina od vodne linije do palube pri gasu T}$$

$$p = 5 \text{ kN/m}^2$$

b) Accommodation deck (Table B1, str. 120)

$$p = 0,35 (g + 0,5 a_v) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{Table B1, str. 120})$$

$$p = 4,4782568 \text{ kN/m}^2$$

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k$$

$$p = 9,4782568 \text{ kN/m}^2$$

$$k_a = 1$$

$$s = 0,6 \text{ m}$$

$$\sigma = 120 \text{ N/mm}^2$$

$$t_k = 0 \text{ mm}$$

$$t = 2,6642928$$

Debljina ne smije biti manja od: (C104, str. 122)

$$t = t_0 + (k L_1 / \sqrt{f_1}) + t_k$$

$$t_0 = 5,5$$

$$k = 0,01$$

$$t = 7,3053$$

$$t_{6th DECK} = 7,5 \text{ mm}$$

5.4.1 5th DECK - uzdužnjaci

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [cm^3]$$

$$p = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$s = 0,6 \text{ m}$$

$$l = 3,2 \text{ m}$$

$$Z = 25,4976 \text{ cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 80 x 7	$Z_x = 27 \text{ cm}^3$
		$A = 5,5 \text{ cm}^2$
		$m = 5,5 \text{ kg/m}$

5.4.2 5th DECK - sponja

$Z = (0,63 l^2 s p w_k) / f_l$ [cm³] minimalni moment otpora sponje (C 400, str. 123)

$l = 29$ m raspon sponje

$s = 3,2$ m razmak sponja

$p = 5$ kN/m²

$Z = 8477,28$ cm³

profil sponje	T 880 x 7 / 350 x 20	$Z_x = 7459,68$ cm ³
		$A = 131,6$ cm ²

5.4.3 5th DECK - podveze (odabire se prema sponji)

profil podveze:	T 880 x 7 / 180 x 20	$Z_x = 946$ cm ³
		$A = 57$ cm ²

5.5 6th DECK - Accommodation deck

$$p = 0,35 (g + 0,5 a_v) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{Table B1, str. 120})$$

$$p = 4,478256836 \text{ kN/m}^2$$

Debljina palube

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k$$

$$p = 4,478256836 \text{ kN/m}^2$$

$$k_a = 1$$

$$s = 0,6 \text{ m}$$

$$\sigma = 120 \text{ N/mm}^2$$

$$t_k = 0 \text{ mm}$$

$$t = 1,831353628$$

Debljina ne smije biti manja od: (C104, str. 122)

$$t = t_0 + (k L_1 / \sqrt{f_1}) + t_k$$

$$t_0 = 5,5$$

$$k = 0$$

$$t = 5,5$$

$$t_{6\text{th DECK}} = 5,5 \text{ mm}$$

5.5.1 6th DECK - uzdužnjaci

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

$$p = 4,4782568 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$s = 0,6 \text{ m}$$

$$l = 3,2 \text{ m}$$

$$Z = 22,83696 \text{ cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 80 x 6	$Z_x = 25$	cm^3
		$A = 6,2$	cm^2
		$m = 4,87$	kg/m

5.5.2 6th DECK - sponja

$$Z = (0,63 l^2 s p w_k) / f_1 \quad [\text{cm}^3] \quad \text{minimalni moment otpora sponje (C 400, str. 123)}$$

$$l = 8,28 \text{ m} \quad \text{raspon sponje}$$

$$s = 3,2 \text{ m} \quad \text{razmak sponja}$$

$$p = 4,4782568 \text{ kN/m}^2$$

$$Z = 618,9566 \text{ cm}^3$$

profil sponje:	T 400 x 7 / 100 x 7	$Z_x = 629,72$	cm^3
		$A = 35$	cm^2

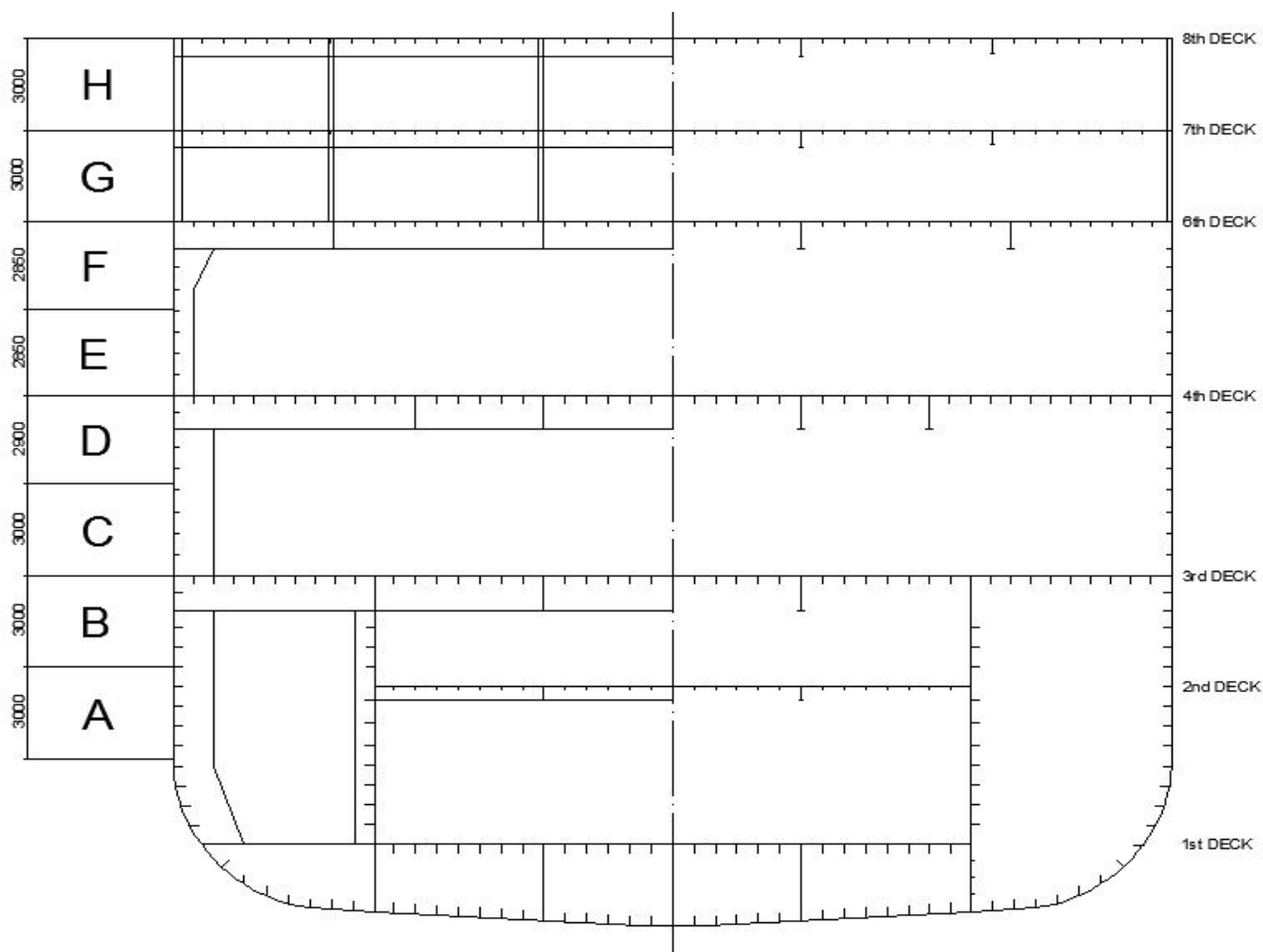
5.5.3 6th DECK - podveze (odabiru se prema sponji)

profil podveze:	T 400 x 7 / 100 x 7	$Z_x = 629,72$	cm^3
		$A = 35$	cm^2

5.6 7th DECK - accommodation deck

Sve isto kao i za 6th DECK

6. Struktura boka - oplata i uzdužnjaci



6.1 Voj A - debljina oplata

Dinamički tlak na oplatu boka - voj A

$$p_{dp} = p_l + 135 y / (B + 75) - 1,2 (T - z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{C 201, str. 56})$$

$$p_l = 26,38833006 \quad (\text{strana 5})$$

$$y = 14,9 \quad \text{m} \quad \text{udaljenost od središnje linije do promatrane točke}$$

$$z = 5,32 \quad \text{m} \quad \text{udaljenost od linije dna do promatrane točke}$$

$$p_{dp} = 42,96603235 \quad \text{kN/m}^2$$

Ukupni tlak na oplatu boka (za promatranu točku ispod vodne linije)

$$p = 10 h_0 + p_{dp} \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$h_0 = 2,18 \quad \text{m} \quad \text{udaljenost od vodne linije do promatrane točke}$$

$$p = 64,766032 \quad \text{kN/m}^2$$

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k \quad [\text{mm}] \quad (\text{C202, str. 104})$$

$$k_a = 1 \quad \text{korekcijski faktor}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 64,766032 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{ukupni tlak}$$

$$\sigma = 140 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{dozvoljeno naprezanje}$$

$$t_k = 0 \quad \text{mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$t = 6,4478951$$

$$t = 7 \quad \text{mm}$$

Minimalna debljina (C 102, str. 104)

$$t = 5 + (k L) / \sqrt{f_1} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$k = 0,04$$

$$t = 12,2212$$

$$t_{voj A} = 12 \quad \text{mm}$$

6.2 Voj B - debljina oplata

Dinamički tlak na oplatu boka - voj B

$$p_{dp} = p_l + 135 y / (B + 75) - 1,2 (T - z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{C 201, str. 56})$$

$$p_l = 26,38833 \quad (\text{strana 5})$$

Ukupni tlak na oplatu boka (za promatranu točku iznad vodne linije)

$$p = a (p_{dp} - (4 + 0,2 k_s) h_0) \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$a = 0,8$$

$$k_s = 2$$

$$h_0 = 0,82 \quad \text{m}$$

$$p = 48,19226404 \quad \text{kN/m}^2$$

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k \quad [\text{mm}] \quad (\text{C202, str. 104})$$

$$k_a = 1 \quad \text{korekcijski faktor}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 48,19226404 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{ukupni tlak}$$

$$\sigma = 140 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{dozvoljeno naprezanje}$$

$$t_k = 0 \quad \text{mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$t = 5,562025612$$

$$t = 6 \quad \text{mm}$$

Minimalna debljina (C 102, str. 104)

$$t = 5 + (k L) / \sqrt{f_1} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$k = 0,04$$

$$t = 12,2212$$

$$t_{voj B} = 12 \quad \text{mm}$$

6.3 Voj C - debljina oplata

Dinamički tlak na oplatu boka - voj C

$$p_{dp} = p_l + 135 y / (B + 75) - 1,2 (T - z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{C 201, str. 56})$$

$$p_l = 26,38833 \quad (\text{strana 5})$$

$$y = 14,9 \quad \text{m} \quad \text{udaljenost od središnje linije do promatrane točke}$$

$$z = 11,32 \quad \text{m} \quad \text{udaljenost od linije dna do promatrane točke}$$

$$p_{dp} = 50,166032 \quad \text{kN/m}^2$$

Ukupni tlak na oplatu boka (za promatranu točku iznad vodne linije)

$$p = a (p_{dp} - (4 + 0,2 k_s) h_0) \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$a = 0,8$$

$$k_s = 2$$

$$h_0 = 3,82 \quad \text{m}$$

$$p = 29,131226 \quad \text{kN/m}^2$$

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k \quad [\text{mm}] \quad (\text{C202, str. 104})$$

$$k_a = 1 \quad \text{korekcijski faktor}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 29,131226 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{ukupni tlak}$$

$$\sigma = 140 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{dozvoljeno naprezanje}$$

$$t_k = 0 \quad \text{mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$t = 4,3243785$$

$$t = 5 \quad \text{mm}$$

Minimalna debljina (C 102, str. 104)

$$t = 5 + (k L) / \sqrt{f_1} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$k = 0,03$$

$$t = 10,4159$$

$$t_{\text{voj C}} = 10,5 \quad \text{mm}$$

6.4 Voj D - debljina oplata

Dinamički tlak na oplatu boka - voj D

$$p_{dp} = p_l + 135 y / (B + 75) - 1,2 (T - z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{C 201, str. 56})$$

$$p_l = 26,38833006 \quad (\text{strana 5})$$

$$y = 14,9 \quad \text{m} \quad \text{udaljenost od središnje linije do promatrane točke}$$

$$z = 14,32 \quad \text{m} \quad \text{udaljenost od linije dna do promatrane točke}$$

$$p_{dp} = 70,39233006 \quad \text{kN/m}^2$$

Ukupni tlak na oplatu boka (za promatranu točku iznad vodne linije)

$$p = a (p_{dp} - (4 + 0,2 k_s) h_0) \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$a = 0,8$$

$$k_s = 2$$

$$h_0 = 6,82 \quad \text{m}$$

$$p = 36,67226404 \quad \text{kN/m}^2$$

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k \quad [\text{mm}] \quad (\text{C202, str. 104})$$

$$k_a = 1 \quad \text{korekcijski faktor}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 36,672264 \text{ kN/m}^2$$

ukupni tlak

$$\sigma = 224 \text{ N/mm}^2$$

dozvoljeno naprezanje

$$t_k = 0 \text{ mm}$$

dodatak za koroziju

$$t = 3,8357756$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

Minimalna debljina (C 102, str. 104)

$$t = 5 + (k L) / \sqrt{f_l} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$k = 0,03$$

$$t = 10,4159$$

$$t_{\text{voj D}} = 10,5 \text{ mm}$$

6.5 Voj E - debljina oplata

Dinamički tlak na oplatu boka - voj E

$$p_{dp} = p_l + 135 y / (B + 75) - 1,2 (T - z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{C 201, str. 56})$$

$$p_l = 26,38833 \quad (\text{strana 5})$$

$$y = 14,9 \text{ m} \quad \text{udaljenost od središnje linije do promatrane točke}$$

$$z = 17,22 \text{ m} \quad \text{udaljenost od linije dna do promatrane točke}$$

$$p_{dp} = 47,052522 \text{ kN/m}^2$$

Ukupni tlak na oplatu boka (za promatranu točku iznad vodne linije)

$$p = a (p_{dp} - (4 + 0,2 k_s) h_0) \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$a = 0,8$$

$$k_s = 2$$

$$h_0 = 9,72 \text{ m}$$

$p =$	9,648417401	kN/m^2	
$p =$	10,763	kN/m^2	minimalna vrijednost
$p =$	10,763	kN/m^2	
$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k$			[mm] (C202, str. 104)
$k_a =$	1		korekcijski faktor
$s =$	0,6	m	razmak uzdužnjaka
$p =$	10,763	kN/m^2	ukupni tlak
$\sigma =$	224	N/mm^2	dozvoljeno naprezanje
$t_k =$	0	mm	dodatak za koroziju
$t =$	2,078026102		
$t =$	3	mm	
Minimalna debljina (C 102, str. 104)			
$t = 5 + (k L) / \sqrt{f_1} + t_k$		[mm]	(AH 36, $f_1 = 1,6$)
$k =$	0,02		
$t =$	7,85442993		
$t_{voj E} =$	8	mm	AH 36

6.6 Voj F - debljina oplata

Dinamički tlak na oplatu boka - voj F

$$p_{dp} = p_l + 135 y / (B + 75) - 1,2 (T - z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{C 201, str. 56})$$

$$p_l = 26,38833 \quad (\text{strana 5})$$

$$y = 14,9 \quad \text{m} \quad \text{udaljenost od središnje linije do promatrane točke}$$

$$z = 20,07 \quad \text{m} \quad \text{udaljenost od linije dna do promatrane točke}$$

$$p_{dp} = 76,939435 \quad \text{kN/m}^2$$

Ukupni tlak na oplatu boka (za promatranu točku iznad vodne linije)

$$p = a (p_{dp} - (4 + 0,2 k_s) h_0) \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$a = 0,8$$

$$k_s = 2$$

$$h_0 = 12,57 \quad \text{m}$$

$$p = 25,349948 \quad \text{kN/m}^2$$

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k \quad [\text{mm}] \quad (\text{C202, str. 104})$$

$$k_a = 1 \quad \text{korekcijski faktor}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 25,349948 \quad \text{kN/m}^2 \quad \text{ukupni tlak}$$

$$\sigma = 224 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{dozvoljeno naprezanje}$$

$$t_k = 0 \quad \text{mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$t = 3,1891347$$

$$t = 4 \quad \text{mm}$$

Minimalna debljina (C 102, str. 104)

$$t = 5 + (k L) / \sqrt{f_1} + t_k \quad [\text{mm}] \quad (\text{AH 36, } f_1 = 1,6)$$

$$k = 0,02$$

$$t = 7,85442993$$

$$t_{\text{voj F}} = 8 \text{ mm} \quad \text{AH 36}$$

6.7 Voj G - debljina oplata

Dinamički tlak na oplatu boka - voj G

$$p_{dp} = p_l + 135 y / (B + 75) - 1,2 (T - z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{C 201, str. 56})$$

$$p_l = 26,38833006 \quad (\text{strana 5})$$

$$y = 14,9 \text{ m} \quad \text{udaljenost od središnje linije do promatrane točke}$$

$$z = 22,92 \text{ m} \quad \text{udaljenost od linije dna do promatrane točke}$$

$$p_{dp} = 80,71233006 \text{ kN/m}^2$$

Ukupni tlak na oplatu boka (za promatranu točku iznad vodne linije)

$$p = a (p_{dp} - (4 + 0,2 k_s) h_0) \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$a = 0,8$$

$$k_s = 2$$

$$h_0 = 15,42 \text{ m}$$

$$p = 20,16026404 \text{ kN/m}^2$$

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k \quad [\text{mm}] \quad (\text{C202, str. 104})$$

$$k_a = 1 \quad \text{korekcijski faktor}$$

$$s = 0,6 \text{ m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 20,16026404 \text{ kN/m}^2 \quad \text{ukupni tlak}$$

$$\sigma = 140 \text{ N/mm}^2$$

dozvoljeno naprezanje

$$t_k = 0 \text{ mm}$$

dodatak za koroziju

$$t = 3,5974306$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

Minimalna debljina (C 102, str. 104)

$$t = 5 + (k L) / \sqrt{f_l} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$k = 0,01$$

$$t = 6,8053$$

$$t_{\text{voj G}} = 7 \text{ mm}$$

6.8 Voj H - debljina oplata

Dinamički tlak na oplatu boka - voj H

$$p_{dp} = p_l + 135 y / (B + 75) - 1,2 (T - z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (\text{C 201, str. 56})$$

$$p_l = 26,38833 \quad (\text{strana 5})$$

$$y = 14,9 \text{ m} \quad \text{udaljenost od središnje linije do promatrane točke}$$

$$z = 25,92 \text{ m} \quad \text{udaljenost od linije dna do promatrane točke}$$

$$p_{dp} = 81,210052 \text{ kN/m}^2$$

Ukupni tlak na oplatu boka (za promatranu točku iznad vodne linije)

$$p = a (p_{dp} - (4 + 0,2 k_s) h_0) \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$a = 0,8$$

$$k_s = 2$$

$$h_0 = 15,42 \text{ m}$$

$$p = 20,55844162 \text{ kN/m}^2$$

$$t = (15,8 k_a s \sqrt{p}) / \sqrt{\sigma} + t_k \quad [\text{mm}] \quad (\text{C202, str. 104})$$

$$k_a = 1 \quad \text{korekcijski faktor}$$

$$s = 0,6 \text{ m} \quad \text{razmak uzdužnjaka}$$

$$p = 20,55844162 \text{ kN/m}^2 \quad \text{ukupni tlak}$$

$$\sigma = 140 \text{ N/mm}^2 \quad \text{dozvoljeno naprezanje}$$

$$t_k = 0 \text{ mm} \quad \text{dodatak za koroziju}$$

$$t = 3,632782652$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

Minimalna debljina (C 102, str. 104)

$$t = 5 + (k L) / \sqrt{f_1} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$k = 0,01$$

$$t = 6,8053$$

$$t_{\text{voj H}} = 7 \text{ mm}$$

6.9 Voj A - uzdužnjaci (C 300, str. 105)

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

minimalni moment otpora uzdužnjaka

$$l = 3,2 \quad \text{m}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m}$$

$$p = 64,766032 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma = 100 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 330,27568 \quad \text{cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 240 x 10	$Z_x = 368$	cm^3
		$A = 32,4$	cm^2
		$m = 25,4$	kg/m

6.10 Voj B - uzdužnjaci (C 300, str. 105)

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

minimalni moment otpora uzdužnjaka

$$l = 3,2 \quad \text{m}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m}$$

$$p = 48,192264 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma = 100 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 245,75741 \quad \text{cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 200 x 11,5	$Z_x = 255$	cm^3
		$A = 28,6$	cm^2
		$m = 22,5$	kg/m

6.11 Voj C - uzdužnjaci (C 300, str. 105)

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

minimalni moment otpora uzdužnjaka

$$l = 3,2 \quad \text{m}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m}$$

$$p = 29,13122588 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma = 100 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 148,555269 \quad \text{cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 200 x 9	$Z_x = 225$	cm^3
		$A = 23,6$	cm^2
		$m = 18,5$	kg/m

6.12 Voj D - uzdužnjaci (C 300, str. 105)

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

minimalni moment otpora uzdužnjaka

$$l = 3,2 \quad \text{m}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m}$$

$$p = 36,67226404 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma = 100 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 187,0109439 \quad \text{cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 200 x 9	$Z_x = 225$	cm^3
		$A = 23,6$	cm^2
		$m = 18,5$	kg/m

6.13 Voj E - uzdužnjaci (C 300, str. 105)

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

minimalni moment otpora uzdužnjaka

$$l = 3,2 \quad \text{m}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m}$$

$$p = 10,763 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma = 160 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 34,303834 \quad \text{cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 140 x 7 AH 36	$Z_x = 80$	cm^3
		$A = 12,4$	cm^2
		$m = 9,74$	kg/m

6.14 Voj F - uzdužnjaci (C 300, str. 105)

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3]$$

minimalni moment otpora uzdužnjaka

$$l = 3,2 \quad \text{m}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m}$$

$$p = 25,349948 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma = 160 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 79,58 \quad \text{cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 140 x 7 AH 36	$Z_x = 80$	cm^3
		$A = 12,4$	cm^2
		$m = 9,74$	kg/m

6.15 Voj G i H - uzdužnjaci (C 300, str. 105)

$$Z = (83 l^2 s p w_k) / \sigma \quad [\text{cm}^3] \quad \text{minimalni moment otpora uzdužnjaka}$$

$$l = 3 \quad \text{m}$$

$$s = 0,6 \quad \text{m}$$

$$p = 20,16026404 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma = 120 \quad \text{N/mm}^2$$

$$Z = 75,2985862 \quad \text{cm}^3$$

odabrani uzdužnjak:	HP 140 x 7	$Z_x = 80$	cm^3
		$A = 12,4$	cm^2
		$m = 9,74$	kg/m

Prilog B – Proračun težina za različite razmake okvira

POPREČNI ELEMENTI (s = 600mm; w = 2400 mm)

		DIMENZIJE			
Element	Komada	X[m]	Y [m]	Z [m]	Masa [t]
Reberenica	1	0,011	14,012	2,5	3,025
Sponja 2nd DECK - struk	1	0,01	8,88	0,44	0,307
Sponja 2nd DECK - flanža	1	0,2	8,88	0,015	0,209
Sponja 3rd DECK - struk	1	0,01	14,9	1,13	1,322
Sponja 3rd DECK - flanža	1	0,4	14,9	0,035	1,638
Sponja 4th DECK - struk	1	0,012	14,9	1,07	1,502
Sponja 4th DECK - flanža	1	0,6	14,9	0,03	2,105
Sponja 5th DECK - struk	1	0,07	14,9	0,88	7,205
Sponja 5th DECK - flanža	1	0,3	14,9	0,02	0,702
T nosač 1 - struk	1	0,01	0,6	7,835	0,369
T nosač 1 - flanža	1	0,18	0,2	7,835	2,214
T nosač 2 - struk	1	0,01	1,2	7,835	0,738
T nosač 2 - flanža	1	0,1	0,012	7,835	0,074
T nosač 3 - struk	1	0,08	0,6	4,8	1,809
T nosač 3 - flanža	1	0,1	0,08	4,8	0,301
T nosač 4 - struk	1	0,06	0,25	4,8	0,565
T nosač 4 - flanža	1	0,08	0,01	4,8	0,030
Ukrepe rebrenice	19	0,1	0,012	2,06	0,369
Σ					24,483

Na 84 metra - 35 okvira

856,91 t

UZDUŽNI ELEMENTI (s = 600mm; w = 2400 mm)

		DIMENZIJE			
Element	Komada	X [m]	Y [m]	Z [m]	Masa [t/m]
Jaki uzdužni nosač 1	1	1	0,011	1,96	0,169
Jaki uzdužni nosač 2	1	1	0,011	2,28	0,197
Hrptenica	1	1	0,0145	2,5	0,285
Ukrepe uzdužnog nosača 1	3	1			0,055
Ukrepe uzdužnog nosača 2	3	1			0,078
Ukrepe hrptenice	3	1			0,068
Uzdužnjaci dna	22	1			0,576
Uzdužnjaci uzvoja	5	1			0,113
Uzdužnjaci boka - voj A	5	1			0,093
Uzdužnjaci boka - voj B, C, D	14	1			0,226
Uzdužnjaci boka - voj E, F	8	1			0,066
Uzdužnjaci pokrova dvodna	13	1			0,295
Uzdužnjaci 2nd DECK	13	1			0,079
Uzdužnjaci 3rd DECK	13	1			0,261
Uzdužnjaci 4th DECK	22	1			0,407
Uzdužnjaci 5th DECK	22	1			0,107
Uzdužnjaci pregrade 1	8	1			0,181
Uzdužnjaci pregrade 2	5	1			0,092
Podveze 2nd DECK - struk	2	1	0,01	0,44	0,069
Podveze 2nd DECK - flanža	2	1	0,15	0,01	0,024
Podveze 3rd DECK - struk	2	1	0,01	1,13	0,177
Podveze 3rd DECK - flanža	2	1	0,15	0,035	0,082
Podveze 4th DECK - struk	3	1	0,01	1,07	0,252
Podveze 4th DECK - flanža	3	1	0,15	0,03	0,106
Podveze 5th DECK - struk	3	1	0,07	0,88	1,451
Podveze 5th DECK - flanža	3	1	0,18	0,012	0,051
					Σ 5,559

Na 84 metra

466,97 t

OPLATA		DIMENZIJE			
Element	Komada	X [m]	Y [m]	Z [m]	Masa [t/m]
Oplata dna	1	1	10,67	0,013	1,089
Oplata uzvoja	1	1	7,21	0,013	0,736
Voj A, B	1	1	0,012	6	0,565
Voj C, D	1	1	0,0105	5,9	0,486
Voj E, F	1	1	0,008	5,6	0,352
1st DECK	1	1	8,88	0,013	0,906
2nd DECK	1	1	14,9	0,0065	0,760
3rd DECK	1	1	14,9	0,012	1,404
4th DECK	1	1	14,9	0,0095	1,111
5th DECK	1	1	14,9	0,0075	0,877
					Σ 8,286

Na 84 metra

696,05 t

Ukupna težina skladišta

2019,93 t

POPREČNI ELEMENTI (s = 600mm; w = 2800 mm)

		DIMENZIJE			
Element	Komada	X[m]	Y [m]	Z [m]	Masa [t]
Reberenica	1	0,011	14,012	2,5	3,025
Sponja 2nd DECK - struk	1	0,01	8,88	0,44	0,307
Sponja 2nd DECK - flanža	1	0,2	8,88	0,02	0,279
Sponja 3rd DECK - struk	1	0,012	14,9	1,14	1,600
Sponja 3rd DECK - flanža	1	0,4	14,9	0,04	1,871
Sponja 4th DECK - struk	1	0,012	14,9	1,07	1,502
Sponja 4th DECK - flanža	1	0,6	14,9	0,04	2,807
Sponja 5th DECK - struk	1	0,07	14,9	0,88	7,205
Sponja 5th DECK - flanža	1	0,35	14,9	0,02	0,819
T nosač 1 - struk	1	0,01	0,6	7,835	0,369
T nosač 1 - flanža	1	0,18	0,25	7,835	2,768
T nosač 2 - struk	1	0,01	1,2	7,835	0,738
T nosač 2 - flanža	1	0,12	0,012	7,835	0,089
T nosač 3 - struk	1	0,08	0,6	4,8	1,809
T nosač 3 - flanža	1	0,1	0,08	4,8	0,301
T nosač 4 - struk	1	0,08	0,27	4,8	0,814
T nosač 4 - flanža	1	0,1	0,012	4,8	0,045
Ukrepe rebrenice	19	0,1	0,012	2,06	0,369
Σ					26,716

Na 84 metra - 30 okvira

801,48 t

UZDUŽNI ELEMENTI (s = 600mm; w = 2800 mm)

		DIMENZIJE			
Element	Komada	X [m]	Y [m]	Z [m]	Masa [t/m]
Jaki uzdužni nosač 1	1	1	0,011	1,96	0,169
Jaki uzdužni nosač 2	1	1	0,011	2,28	0,197
Hrptenica	1	1	0,0145	2,5	0,285
Ukrepe uzdužnog nosača 1	3	1			0,076
Ukrepe uzdužnog nosača 2	3	1			0,068
Ukrepe hrptenice	3	1			0,077
Uzdužnjaci dna	22	1			0,623
Uzdužnjaci uzvoja	5	1			0,136
Uzdužnjaci boka - voj A	5	1			0,116
Uzdužnjaci boka - voj B, C, D	14	1			0,240
Uzdužnjaci boka - voj E, F	8	1			0,066
Uzdužnjaci pokrova dvodna	13	1			0,340
Uzdužnjaci 2nd DECK	13	1			0,099
Uzdužnjaci 3rd DECK	13	1			0,295
Uzdužnjaci 4th DECK	22	1			0,407
Uzdužnjaci 5th DECK	22	1			0,107
Uzdužnjaci pregrade 1	8	1			0,219
Uzdužnjaci pregrade 2	5	1			0,116
Podveze 2nd DECK - struk	2	1	0,01	0,44	0,069
Podveze 2nd DECK - flanža	2	1	0,15	0,015	0,035
Podveze 3rd DECK - struk	2	1	0,012	1,14	0,215
Podveze 3rd DECK - flanža	2	1	0,15	0,04	0,094
Podveze 4th DECK - struk	3	1	0,01	1,07	0,252
Podveze 4th DECK - flanža	3	1	0,15	0,04	0,141
Podveze 5th DECK - struk	3	1	0,07	0,88	1,451
Podveze 5th DECK - flanža	3	1	0,18	0,012	0,051
					Σ 5,944

Na 84 metra

499,30 t

OPLATA		DIMENZIJE			
Element	Komada	X [m]	Y [m]	Z [m]	Masa [t/m]
Oplata dna	1	1	10,67	0,013	1,089
Oplata uzvoja	1	1	7,21	0,013	0,736
Voj A, B	1	1	0,012	6	0,565
Voj C, D	1	1	0,0105	5,9	0,486
Voj E, F	1	1	0,008	5,6	0,352
1st DECK	1	1	8,88	0,013	0,906
2nd DECK	1	1	14,9	0,0065	0,760
3rd DECK	1	1	14,9	0,012	1,404
4th DECK	1	1	14,9	0,0095	1,111
5th DECK	1	1	14,9	0,0075	0,877
					Σ 8,286

Na 84 metra

696,05 t

Ukupna težina na 84 metra

1996,83 t

POPREČNI ELEMENTI (s = 600mm; w = 3200 mm)

		DIMENZIJE			
Element	Komada	X[m]	Y [m]	Z [m]	Masa [t]
Reberenica	1	0,011	14,012	2,5	3,025
Sponja 2nd DECK - struk	1	0,01	8,88	0,45	0,314
Sponja 2nd DECK - flanža	1	0,23	8,88	0,02	0,321
Sponja 3rd DECK - struk	1	0,012	14,9	1,15	1,614
Sponja 3rd DECK - flanža	1	0,42	14,9	0,045	2,211
Sponja 4th DECK - struk	1	0,012	14,9	1,07	1,502
Sponja 4th DECK - flanža	1	0,6	14,9	0,045	3,158
Sponja 5th DECK - struk	1	0,07	14,9	0,88	7,205
Sponja 5th DECK - flanža	1	0,35	14,9	0,02	0,819
T nosač 1 - struk	1	0,01	0,6	7,835	0,369
T nosač 1 - flanža	1	0,18	0,25	7,835	2,768
T nosač 2 - struk	1	0,01	1,2	7,835	0,738
T nosač 2 - flanža	1	0,14	0,015	7,835	0,129
T nosač 3 - struk	1	0,08	0,6	4,8	1,809
T nosač 3 - flanža	1	0,13	0,12	4,8	0,588
T nosač 4 - struk	1	0,08	0,27	4,8	0,814
T nosač 4 - flanža	1	0,1	0,012	4,8	0,045
Ukrepe rebrenice	19	0,1	0,012	2,06	0,369
Σ					27,796

Na 84 metra - 26 okvira

722,69 t

UZDUŽNI ELEMENTI (s = 600mm; w = 3200 mm)

		DIMENZIJE			
Element	Komada	X [m]	Y [m]	Z [m]	Masa [t/m]
Jaki uzdužni nosač 1	1	1	0,011	1,96	0,169
Jaki uzdužni nosač 2	1	1	0,011	2,28	0,197
Hrptenica	1	1	0,0145	2,5	0,285
Ukrepe uzdužnog nosača 1	3	1			0,090
Ukrepe uzdužnog nosača 2	3	1			0,082
Ukrepe hrptenice	3	1			0,097
Uzdužnjaci dna	22	1			0,737
Uzdužnjaci uzvoja	5	1			0,151
Uzdužnjaci boka - voj A	5	1			0,127
Uzdužnjaci boka - voj B, C, D	14	1			0,279
Uzdužnjaci boka - voj E, F	8	1			0,078
Uzdužnjaci pokrova dvodna	13	1			0,356
Uzdužnjaci 2nd DECK	13	1			0,095
Uzdužnjaci 3rd DECK	13	1			0,330
Uzdužnjaci 4th DECK	22	1			0,442
Uzdužnjaci 5th DECK	22	1			0,121
Uzdužnjaci pregrade 1	8	1			0,212
Uzdužnjaci pregrade 2	5	1			0,127
Podveze 2nd DECK - struk	2	1	0,01	0,45	0,071
Podveze 2nd DECK - flanža	2	1	0,15	0,015	0,035
Podveze 3rd DECK - struk	2	1	0,012	1,15	0,217
Podveze 3rd DECK - flanža	2	1	0,15	0,04	0,094
Podveze 4th DECK - struk	3	1	0,01	1,07	0,252
Podveze 4th DECK - flanža	3	1	0,15	0,04	0,141
Podveze 5th DECK - struk	3	1	0,07	0,88	1,451
Podveze 5th DECK - flanža	3	1	0,18	0,015	0,064
Σ					6,299

Na 84 metra

529,12 t

OPLATA		DIMENZIJE			
Element	Komada	X [m]	Y [m]	Z [m]	Masa [t/m]
Oplata dna	1	1	10,67	0,013	1,089
Oplata uzvoja	1	1	7,21	0,013	0,736
Voj A, B	1	1	0,012	6	0,565
Voj C, D	1	1	0,0105	5,9	0,486
Voj E, F	1	1	0,008	5,6	0,352
1st DECK	1	1	8,88	0,013	0,906
2nd DECK	1	1	14,9	0,0065	0,760
3rd DECK	1	1	14,9	0,012	1,404
4th DECK	1	1	14,9	0,0095	1,111
5th DECK	1	1	14,9	0,0075	0,877
Σ					8,286

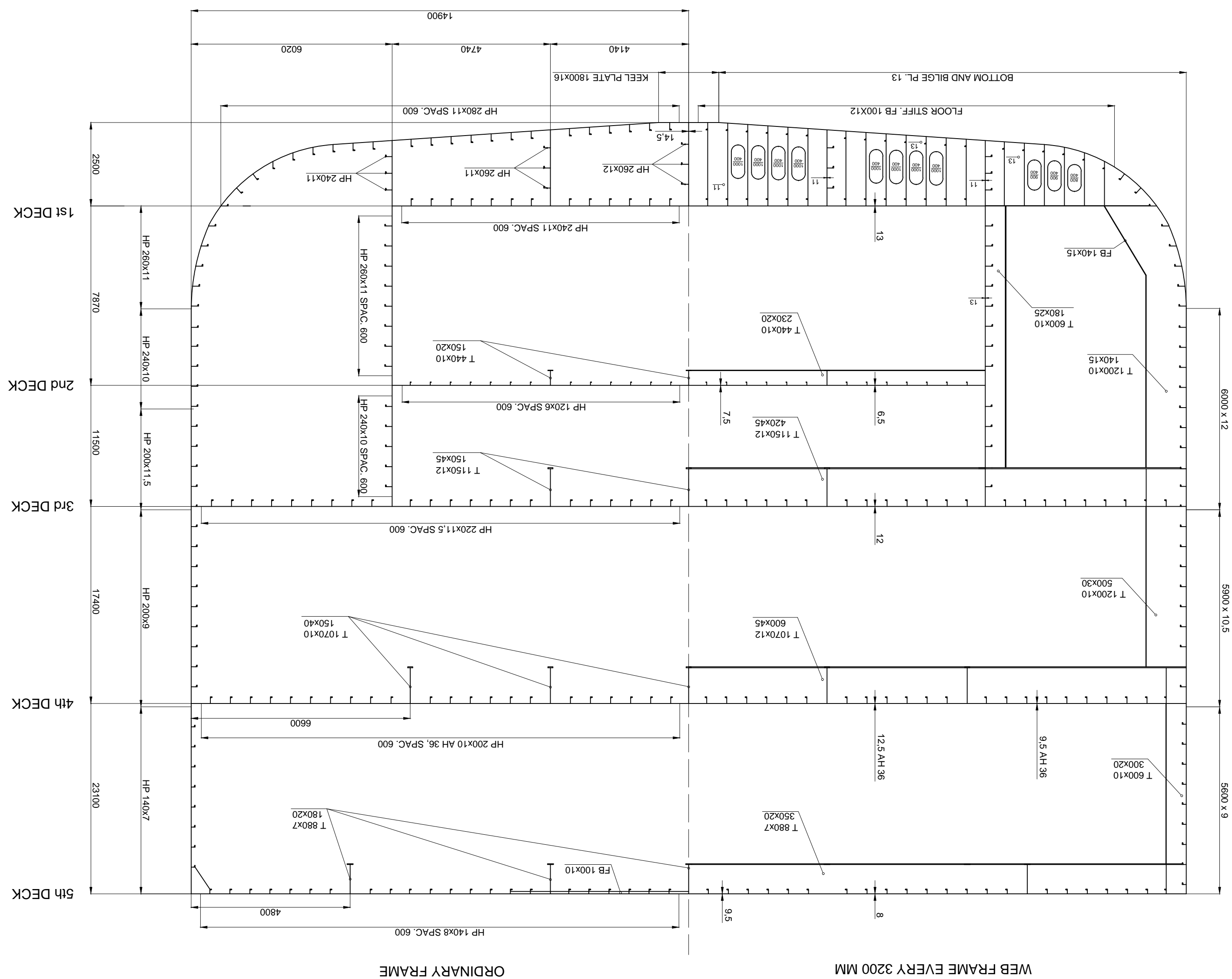
Na 84 metra

696,05 t


Ukupna težina na 84 metra

1947,86 t

Prilog C – Nacrt glavnog rebra (sa i bez nadgrađa)



$L_{scant} = 180,53 \text{ m}$
 $B = 29,8 \text{ m}$
 $T = 7,5 \text{ m}$
 $C_b = 0,514$
 $v = 24,5 \text{ kn}$

<div><div></div><div>FSB-Zagreb</div></div>		Datum	Ime i prezime	Potpis																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
--	--	-------	---------------	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

